И.Д. Радомысельский, Е.Л. Печентковский, Г.Г. Сердюк

ПРЕСС-ФОРМЫ

для порошковой металлургии

И. Д. РАДОМЫСЕЛЬСКИЙ,
Е. Л. ПЕЧЕНТКОВСКИЙ,
Г. Г. СЕРДЮК

ПРЕСС-ФОРМЫ
ДЛЯ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

Издательство «Техніка»
Киев — 1970

6П3.3
Р15

УДК 621.72:621.775.7

Пресс-формы для порошковой металлургии. Расчет и конструирование. Радомысельский И. Д., Печентковский Е. Л., Сердюк Г. Г. «Техніка», 1970, 172 стр.

Изложены технологические принципы и классификация методов формования металлокерамических изделий, излагаются принципы конструирования пресс-форм для холодного и горячего прессования изделий из металлических порошков, допрессовки и калибрования этих изделий. Приводятся методы расчета матриц и других деталей пресс-форм; рассматриваются некоторые особенности технологии изготовления. Книга рассчитана на конструкторов и технологов, занимающихся вопросами порошковой металлургии, преподавателей и студентов металлургических и машиностроительных факультетов.

Табл. 14, илл. 111, библ. 43.

Рецензент канд. техн. наук *А. Н. Крушинский*
Редакция литературы по машиностроению и транспорту
Заведующий редакцией инж. *М. А. Василенко*

Израиль Давидович Радомысельский, канд. техн. наук,
Евгений Леонидович Печентковский, инж.,
Геннадий Георгиевич Сердюк, инж.

Пресс-формы для порошковой металлургии
Расчет и конструирование

Редакторы издательства инж. *Л. А. Гаврилюк*, *П. П. Таможний*
Обложка художника *Е. В. Попова*
Художественные редакторы *Б. В. Валуенко*, *Н. Ф. Соловьева*
Технический редактор *М. Л. Мелько*
Корректоры *Ж. А. Вильшанская*, *В. П. Сенчурова*

Сдано в набор 14/III-1969 г. Подписано к печати 17/II-1970 г. Формат бумаги 60 x 84 1/16. Объем: 10,75 физ. л.: 10,0 усл. л.; 10,66 уч.-изд. л. Тираж 3500. БФ 01173. Цена 82 коп.,

Издательство «Техніка», Киев, 4, Пушкинская, 28.

Отпечатано с матриц Книжной ф-ки им. М. В. Фрунзе Комитета по печати при Совете Министров УССР, Харьков, Донец-Захаржевская, 6/8, в Книжной типографии «Коммунист» Комитета по печати при Совете Министров УССР, Харьков, Пушкинская, 29. Зак. 424.

3-10-4
102-69М

В материалах XXIII съезда КПСС указывается на необходимость дальнейшего развития порошковой металлургии и внедрения металлокерамических изделий в машиностроительную и другие отрасли промышленности.

В последние годы металлокерамические изделия стали широко применяться во всех областях машиностроения и приборостроения. Материалы и детали, изготовленные методами порошковой металлургии, обладают такими специальными свойствами, как повышенная износостойкость и твердость, жаропрочность, а также имеют специальные электрофизические и тепловые характеристики.

Одной из главных операций технологического процесса изготовления металлокерамических изделий является формование, осуществляемое в пресс-формах. Специальные пресс-формы используются для допрессовки, калибрования, экструзии. Качество и себестоимость металлокерамических изделий в значительной степени зависят от конструкции пресс-форм и их долговечности.

В книге впервые собраны и обобщены опубликованные в различных журналах и сборниках сведения по расчету и конструированию пресс-форм для производства металлокерамиче-

ских изделий, а также использованы работы авторов, проводившиеся в течение ряда лет в Институте проблем материаловедения АН УССР.

Кроме принципов конструирования и расчета пресс-форм, рассмотрены основные технологические варианты формования металлокерамических изделий и их классификация.

Поскольку настоящая книга является первой попыткой систематизировать имеющийся разрозненный материал по перечисленным вопросам, она, естественно, не лишена недостатков. Авторы будут благодарны за все замечания и пожелания читателей, которые следует направлять по адресу: *Киев, 4, Пушкинская, 28, издательство «Техніка».*

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВАРИАНТЫ ФОРМОВАНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Одной из основных операций технологического процесса производства металлокерамических изделий является их формование из металлических порошков.

Формование представляет собой процесс получения из порошка изделия (заготовки) определенной формы и размеров, обладающего такой прочностью, чтобы его можно было извлечь из формующей полости и подвергнуть дальнейшей обработке.

При формовании металлокерамического тела из сыпучих порошков требуются значительные затраты энергии (давление, температура), расходуемой на уплотнение брикета в результате деформации частиц, трение частиц порошка между собой и о стенки формующей полости, снятие поверхностных напряжений в частицах, возникающих при деформации, и т. д.

Процесс формования металлокерамического тела можно охарактеризовать величиной давления или давления и температуры. В первом случае, при холодном формовании, процесс протекает при изменении двух параметров: давления и времени; во втором, при горячем формовании,— трех параметров: давления, температуры и времени. Чем меньше эти величины (при одном и том же формуемом материале), тем экономичнее процесс с энергетической точки зрения. Однако нельзя рассматривать холодное формование как частный случай горячего, проводимого при постоянной температуре (равной, например, 20° С). Холодное формование, хотя и производится при температуре, ниже температуры рекристаллизации компонентов, обязательно требует впоследствии спекания спрессованного брикета или отжига для снятия внутренних напряжений.

В некоторых случаях формование протекает без приложения внешнего давления. При этом, если формование холодное, в шихту добавляются специальные связующие вещества, и полученное изделие затем обязательно подвергается спеканию (шликерное литье). Если формование горячее, то спекание происходит либо в форме, либо в оболочке, с помощью которых изделию придается соответствующая конфигурация (формование свободной засыпкой).

Способы формования можно разделить на два вида: прерывистое и непрерывное.

Прерывистым называется такое формование, при котором количество циклов подачи шихты в полость пресс-формы соответствует количеству циклов формования, изготовляемые изделия ограничены в трех измерениях. В процессе прерывистого формования нарушается связь между очередной порцией шихты и готовым изделием.

При непрерывном формовании периодическая или непрерывная подача шихты осуществляется независимо от количества циклов прессования. Между уплотненной частью изделия и неуплотненной шихтой существует постоянный переход. Изделия при этом ограничены в двух измерениях (ширина и высота) и практически не ограничены в третьем.

В процессе формования заготовка может изменять размеры в плоскости, перпендикулярной направлению прилагаемого давления ($S \neq \text{const}$), или сохранять их неизменными ($S = \text{const}$).

Формование производится в вакууме и при атмосферном давлении.

Горячее формование может производиться в защитной среде или вакуумированных оболочках.

На рис. 1 представлена примерная схема различных технологических вариантов формования металлокерамических изделий. Формование можно производить в закрытой или открытой пресс-форме, в оболочке, в открытой форме, в валках.

Закрытой пресс-формой называется инструмент для формования изделий из порошка с приложением давления, имеющий замкнутую со всех сторон формующую полость. В открытой пресс-форме формующая полость имеет сообщение с окружающей средой.

При некоторых видах формования в оболочке (изостатическое прессование) изделие принимает ее конфигурацию. Порошок при этом воспринимает давление рабочего тела или усилие магнитного поля (при электромагнитном формовании), передаваемые оболочкой. При прокатке оболочка играет вспомогательную роль, предохраняя порошок от окисления на воздухе и принимая вместе с порошком ту форму, которую сообщают изделию формующие элементы.

Рассматриваемая примерная схема технологических вариантов формования в металлокерамическом производстве (рис. 1) позволяет достаточно четко разграничить их, хотя многие имеют элементы, очень сходные друг с другом.

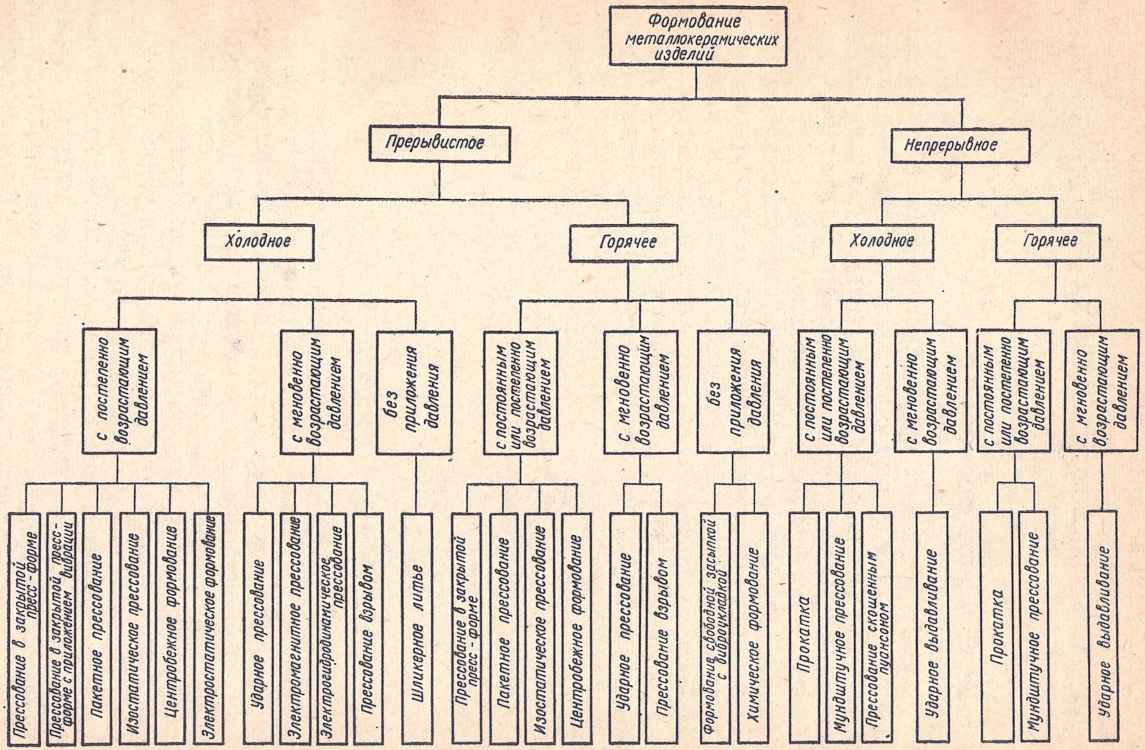


Рис. 1. Схема технологических вариантов процесса формования металлических порошков.

Безусловно, схема не охватывает абсолютно все варианты формования металлокерамических изделий. В ней нашли отражение в основном только методы получения этих изделий непосредственно из порошков.

ПРЕРЫВИСТОЕ ХОЛОДНОЕ ФОРМОВАНИЕ

К этому способу относятся прессование в закрытых пресс-формах, в закрытых пресс-формах с приложением вибрации, пакетное и изостатическое (формование в оболочках) прессование и такие виды формования, как центробежное, электростатическое, которые осуществляются в открытых пресс-формах.

Некоторые авторы относят холодное изостатическое прессование к формованию с постоянным давлением, однако это не соответствует ходу технологического процесса. Степень уплотнения порошка зависит, в первую очередь, от величины прилагаемого давления, и уплотнение порошка начинается с момента приложения давления, продолжаясь при непрерывном его повышении. При достижении максимального давления практически достигается максимальная плотность изделия, а выдержка при максимальном давлении особого влияния на повышение плотности не имеет. Такая выдержка под давлением может применяться и в других видах формования, например при холодном прессовании в закрытых пресс-формах.

Прессование в закрытых пресс-формах

Наиболее распространенным способом формообразования металлокерамических изделий является холодное прессование в закрытых пресс-формах. Этот технологический вариант формования изделий из порошков представляет собой прерывистый процесс формообразования, при котором площадь проекции формуемого изделия на плоскость, перпендикулярную направлению приложенного усилия прессования, остается неизменной, и давление непрерывно возрастает до заданной максимальной величины.

В результате процесса получается прессовка (заготовка), имеющая форму и размеры, соответствующие готовой детали с припусками на последующую обработку (спекание, калибрование и др.).

Особенности прессования в закрытых пресс-формах заключаются в следующем.

В процессе прессования порошок, находящийся в полости пресс-формы, стремится к растеканию в стороны, но при этом удерживается боковыми стенками матрицы. Возникает боковое давление порошка на стенки матрицы, которое в результате внутреннего трения частиц порошка в несколько раз меньше, чем прилагаемое давление прессования. Вместе с тем из-за перемещения порошка в направлении приложения усилия возникают силы трения между порошком и стенками матрицы, препятствующие получению равномерной плотности брикета. Наибольшая плотность наблюдается у стенки матрицы под прессующим пуансоном, наименьшая — у стенки матрицы возле неподвижного пуансона, если прессование одностороннее, или примерно в среднем сечении высоты брикета, если прессование двухстороннее. Процесс прессования в закрытых пресс-формах протекает по следующим трем основным стадиям:

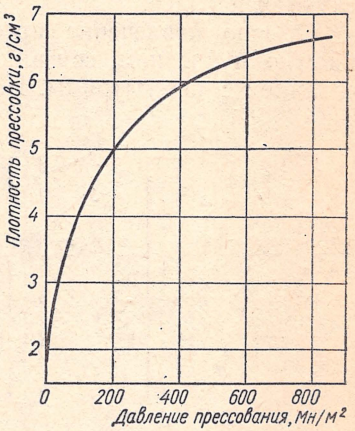


Рис. 2. График зависимости плотности прессовки из восстановленного железного порошка от давления прессования.

1) увеличение плотности за счет перемещения частиц порошка относительно друг друга (заполнение пустот, разрушение арочных мостиков, образовавшихся при заполнении, и т. д.);

2) деформация частиц порошка и увеличение металлического контакта между ними за счет разрушения пленки окислов на поверхности частиц (резче проявляются силы трения частиц порошка о стенки формующей полости);

3) деформация отдельных зон внутри частиц, их упрочнение (наклеп), что требует больших усилий для дальнейшего деформирования и резко замедляет процесс уплотнения.

При прессовании порошков хрупких металлов (молибден, уран, бориды и др.) деформация проявляется в сламывании и дроблении выступов на поверхности частиц.

Эти три стадии наглядно иллюстрируются кривой зависимости плотности прессовки из восстановленного железного порошка от давления прессования (рис. 2). На первом этапе плотность резко возрастает (от 1,8 до 4,5 *г/см*^{3}) при незначительном увеличении давления (до 150 *Мн/м*^{2}). Затем возрастание плотности замедляется (на 1,5 *г/см*^{3} при увеличении давления от 150 до 400 *Мн/м*^{2}), а на

третьем этапе кривая плотности становится совсем пологой (плотность увеличивается на 0,7 *г/см*^{3} при повышении давления от 400 до 900 *Мн/м*^{2}).

После снятия давления прессования прессовка, в результате упругих напряжений, плотно сидит в формующей полости матрицы, и для извлечения ее следует приложить некоторое усилие, которое может составлять 20—35% от давления прессования, а в некоторых случаях и более.

Обычно извлечение прессовки производится или выталкиванием ее пуансоном, связанным с выталкивателем пресса, или стягиванием с нее матрицы. После извлечения прессовки из формующей полости матрицы наблюдается некоторое увеличение ее размеров по высоте и диаметру, происходящее в результате освобождения упругих сил, возникающих во время процесса прессования.

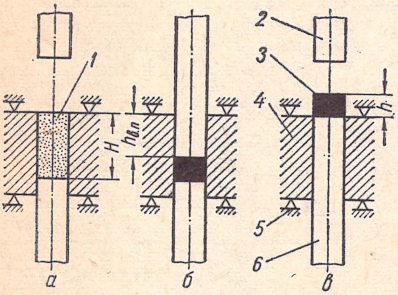


Рис. 3. Схема одностороннего прессования:

а — заполнение; *б* — прессование; *в* — выталкивание; *1* — порошок; *2* — верхний пуансон; *3* — изделие; *4* — матрица; *5* — упор; *6* — нижний пуансон-выталкиватель.

Это явление называется упругим последействием и должно учитываться при расчете формующей полости пресс-формы.

Прессование в закрытых пресс-формах в зависимости от приложения давления может быть односторонним и двухсторонним.

Одностороннее прессование применяется при изготовлении простых деталей типа пластин или дисков с отношением высоты изделия к его диаметру $\frac{h}{d} < 1$, а также типа гладких втулок с отношением высоты к минимальному значению толщины стенки $\frac{h}{s_{мин}} < 3$. Схема такого прессования приведена на рис. 3.

Высота полученной прессовки при этом

$$h = H - h_{в.\,п} + \Delta h, \qquad (1)$$

где H — высота засыпанного слоя порошка;

$h_{в.\,п}$ — ход верхнего пуансона при прессовании порошка;

Δh — величина упругого последействия по высоте прессовки.

В некоторых случаях изделия сложной формы можно прессо-

вать в закрытых пресс-формах, прилагая давление с нескольких сторон (рис. 4). Этот метод применяется при прессовании резьб, длинных втулок с тонкой стенкой и т. д. При такой схеме прессования высота прессовки остается неизменной, а изменяется толщина стенки. Прессование относительно слоя порошка в данном случае одностороннее.

Двухстороннее прессование обычно применяется для изделий, имеющих отношение $1 \leqslant \frac{h}{d} < 5$, а также $3 \leqslant \frac{h}{s_{\text{мин}}} < (17 \div 20)$, и может осуществляться по трем основным схемам.

По схеме I (рис. 5) прессование производится двумя подвижными пуансонами при неподвижной матрице. При таком прессовании высота прессовки

$$h = H - (h_{\text{в. п}} + h_{\text{н. п}}) + \Delta h, \qquad (2)$$

где $h_{\text{н. п}}$ — ход нижнего пуансона при прессовании.

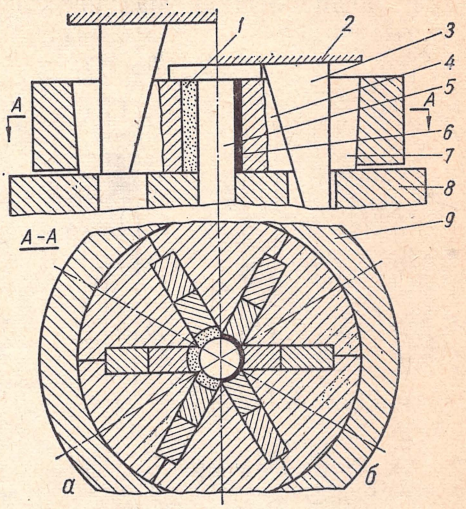


Рис. 4. Схема прессования несколькими пуансонами:

а — перед прессованием; *б* — в конце процесса прессования; *1* — порошок; *2* — верхняя плита пресса; *3* — клинья; *4* — боковые пуансоны; *5* — стержень с верхним ограничителем; *6* — изделие; *7* — матрица; *8* — основание пресс-формы; *9* — обойма.

Движение пуансонов может быть как одновременным, так и поочередным.

По схеме II (рис. 6) для проведения процесса применяется неподвижный пуансон (чаще всего нижний) и подвижные верхний пуансон и матрица.

Подвижные детали перемещаются принудительно и поочередно: вначале один пуансон, а затем пуансон совместно с матрицей.

Высота прессовки при этом

$$h = H - (h_{\text{п. п}} + h_{\text{м}}) + \Delta h, \qquad (3)$$

где $h_{\text{м}}$ — ход матрицы;

$h_{\text{п. п}}$ — ход подвижного пуансона относительно матрицы в процессе прессования порошка.

Общий ход подвижного пуансона

$$h_{\text{общ. п. п}} = h_{\text{п. п}} + h_{\text{м}} = h_{\text{пр}}, \qquad (4)$$

где $h_{\text{пр}}$ — общий ход прессования.

Величину общего хода прессования можно выразить зависимостью

$$h_{\text{пр}} = H - (h \quad - \Delta h). \qquad (5)$$

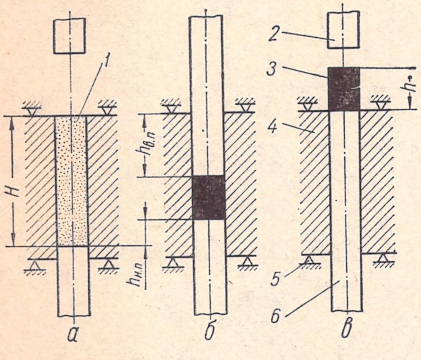


Рис. 5. Схема двухстороннего прессования с неподвижной матрицей:

а — заполнение; *б* — прессование; *в* — выталкивание; *1* — порошок; *2* — верхний пуансон; *3* — изделие; *4* — матрица; *5* — упор; *6* — нижний пуансон-выталкиватель.

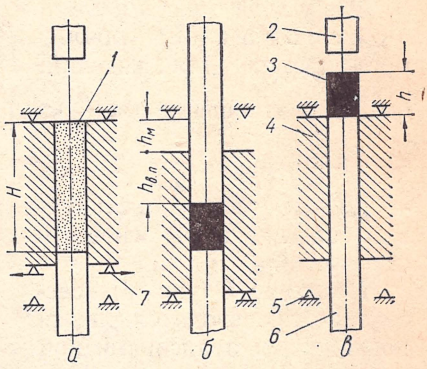


Рис. 6. Схема двухстороннего прессования с подвижными верхним пуансоном и матрицей:

а — заполнение; *б* — прессование; *в* — выталкивание; *1* — порошок; *2* — верхний пуансон; *3* — изделие; *4* — матрица; *5* — неподвижный упор; *6* — нижний пуансон-выталкиватель; *7* — убирающиеся упоры.

Во всех случаях поочередного перемещения формующих деталей по схемам I и II пуансон, начинающий движение первым, до начала движения второго пуансона (схема I) или матрицы (схема II) должен пройти путь, обеспечивающий такое уплотнение шихты, при котором матрица силой трения удерживается на месте после снятия упоров.

Удовлетворительный результат в отношении распределения плотности по высоте изделия дает способ прессования, при котором вначале порошок при неподвижных матрице и нижнем пуансоне уплотняется верхним пуансоном до определенного максимального давления, с которым должно прессоваться изделие, а затем упоры матрицы убираются и производится подпрессовка нижним пуансоном до этого же давления. Обычно этот метод применяется при прессовании несложных деталей типа пластин и втулок, имеющих одинаковое сечение по высоте и изготавливаемых из достаточно пластичных порошков.

По схеме III (рис. 7) прессование производится при неподвижном нижнем пуансоне и плавающей матрице, подвешенной на пружинах или гидро(пневмо)цилиндрах.

Высота прессовки определяется так же, как и при прессовании по схеме II. Движение плавающей матрицы начинается самопроизвольно с того момента, когда возникающая сила трения порошка о стенки матрицы преодолеет сопротивление предварительной нагрузки пружины или гидро(пневмо)цилиндров.

По схеме III извлечение прессовки из формующей полости может осуществляться дальнейшим осаждением матрицы после прессования (относительно нижнего пуансона), т. е. стягиванием матрицы, или так же, как по схеме II, выталкиванием изделия нижним пуансоном из возвращенной в первоначальное положение матрицы.

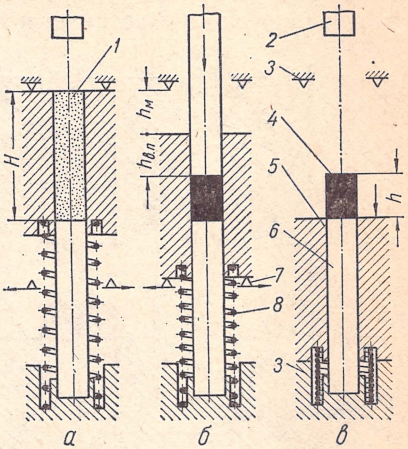


Рис. 7. Схема двухстороннего прессования с «плавающей» матрицей:
а — заполнение; *б* — прессование; *в* — выталкивание; *1* — порошок; *2* — верхний пуансон; *3* — неподвижные упоры; *4* — изделие; *5* — матрица; *6* — нижний пуансон; *7* — убирающийся упор; *8* — пружина.

При прессовании изделий, имеющих отношение $\frac{h}{s_{мин}} > 4$, следует применять двухстороннее прессование с относительным перемещением стержня и матрицы. Следует отметить, что совместное применение плавающих стержня и матрицы приводит к тому, что в процессе прессования обе эти детали перемещаются одновременно, а скорость их перемещения

$$v_м \approx v_{ст} \approx \frac{1}{2} v_{в.\,п},$$

где $v_м$, $v_{ст}$, $v_{в.\,п}$ — соответственно скорости перемещения матрицы, стержня и верхнего пуансона.

В результате получается одностороннее прессование (верхним и нижним пуансонами) по направлению к средней плоскости формующей полости пресс-формы. Это создает худшие условия, чем относительное перемещение стержня и матрицы, и усложняет конструкцию пресс-формы.

Разновидности холодного прессования в закрытых пресс-формах

Одной из разновидностей прессования в закрытых пресс-формах является изготовление многослойных изделий. К таким изделиям относятся, например, некоторые виды подшипников скольжения, биметаллические пластины, некоторые виды коллекторных пластин, двухслойные электроконтакты и др.

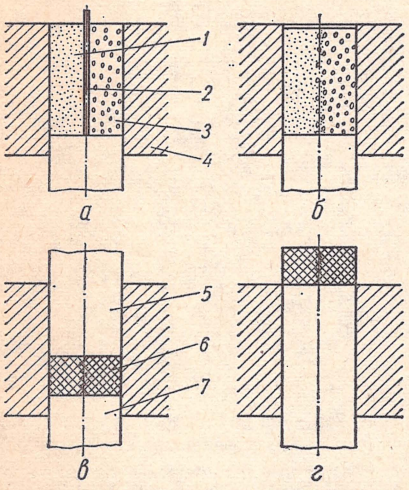


Рис. 8. Схема двухслойного прессования с вертикальным расположением слоев:

а — заполнение; *б* — заполнение после снятия перегородки; *в* — прессование; *г* — выталкивание; *1* — порошок *А*; *2* — перегородка; *3* — порошок *Б*; *4* — матрица; *5* — верхний пуансон; *6* — изделие; *7* — нижний пуансон-выталкиватель.

Прессование многослойных изделий в закрытых пресс-формах не вызывает особых затруднений.

Прессование, например, многослойных металлокерамических изделий может производиться с вертикальным и горизонтальным (относительно оси приложения усилия прессования) расположением слоев.

При прессовании с вертикальным расположением слоев (рис. 8) в матрице перед засыпкой порошков устанавливается перегородка, разделяющая полость матрицы на соответствующие емкости для каждого из порошков. Перед прессованием перегородка удаляется, происходит некоторое перемешивание граничных слоев порошков, что в дальнейшем обеспечивает надежный контакт между участками детали. Пресс-формы, работающие по такому способу, применяются, например, при изготовлении двухслойных металлокерамических подшипников и других деталей.

При различном насыпном весе прессуемых порошков следует предусмотреть два нижних пуансона с перемещением их друг относительно друга. При заполнении пресс-формы пуансон, формующий слой порошка с меньшим насыпным весом, должен быть опущен несколько ниже второго пуансона, обеспечив необходимую емкость для засыпаемого порошка.

При прессовании с горизонтальным расположением слоев (рис. 9) производится поочередная засыпка порошка из двух или более бункеров (в зависимости от количества слоев и их чередования). Из первого бункера засыпается нижний слой порошка, нижний пуансон опускается на заданную величину, вспомогательным верхним пуансоном засыпанный слой незначительно уплотняется, причем подготавливается емкость, необходимая для объемного дозирования следующего слоя порошка. Из второго бункера засыпается второй слой и затем, если прессовка двухслойная, производится прессование и выталкивание готового брикета.

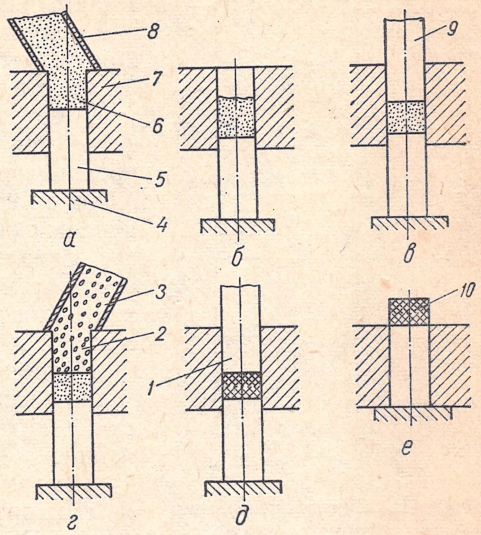


Рис. 9. Схема двухслойного прессования с горизонтальным расположением слоев:

а — заполнение порошком *А*; *б* — опускание нижнего пуансона; *в* — подпрессовка; *г* — заполнение порошком *Б*; *д* — прессование; *е* — выталкивание; *1* — верхний пуансон; *2* — порошок *Б*; *3* — бункер с порошком *Б*; *4* — нижняя плита пресса; *5* — нижний пуансон — выталкиватель; *6* — порошок *А*; *7* — матрица; *8* — бункер с порошком *А*; *9* — вспомогательный верхний пуансон; *10* — изделие.

При прессовании изделий с тремя или большим количеством слоев заполнение производится в аналогичном цикле. Если необходимо, чтобы граничные слои слегка перемешивались, то промежуточный пуансон не применяется.

В некоторых случаях двухслойное или многослойное прессование производится пооперационно. Вначале в одной пресс-форме подготавливают сердечник, затем его переносят во вторую пресс-форму, где вокруг спрессованного брикета и внутрь его (если брикет пустотелый) засыпают порошок и прессуют.

Примерно по такому же методу получают металлокерамические детали с внутренними каналами и пустотами. В формующую полость вставляются стержни (шаблоны), изготовленные из двух металлов: внутри вспомогательный металл (например, кадмий, цинк), испаряющийся при спекании, а снаружи слой основного металла, толщина которого составляет примерно 20% от диаметра

стержня. Предварительное спекание производится в вакууме для удаления стержня: вспомогательный металл при этом испаряется, а покрывающий его основной металл диффундирует в тело прессовки.

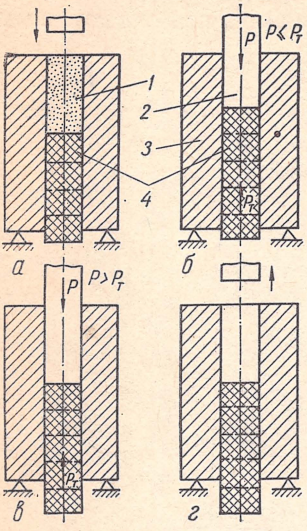


Рис. 10. Схема прессования в пресс-форме с предварительно спрессованным брикетом вместо нижнего пуансона:

а — заполнение; *б* — прессование; *в* — проталкивание; *г* — отход вверх верхнего пуансона и освобождение полости для очередного заполнения; *1* — порошок; *2* — верхний пуансон; *3* — матрица; *4* — предварительно спрессованный брикет (штриховыми линиями отмечены циклы прессования брикета); P — усилие прессования; P_T — сила трения спрессованного брикета о стенки матрицы.

Оригинальным способом прессования в закрытых пресс-формах изделий сложной конфигурации является прессование с резиновым вкладышем.

Работа пресс-формы заключается в том, что внутренняя полость детали формуется резиновой вставкой. Давление пресса через верхний пуансон и находящийся в формующей полости матрицы порошок передается на резиновую вставку. Сама пресс-форма установлена на резиновой прокладке. Такой способ исключает колебания в толщине дна прессовки и деформацию ее боковых стенок.

Подобным методом можно прессовать такие изделия, как тигли из металлических порошков и тугоплавких соединений.

Иногда холодное прессование в закрытых пресс-формах производится в вакууме. Этот процесс заключается в том, что из формующей полости и бункера с порошком удаляется воздух. Порошок пересыпается в пресс-форму из герметически подсоединенного бункера и затем производится прессование.

Прессование в вакууме не оказывает влияния на величину плотности спрессованного брикета, однако в работе [4] приводятся данные С. Гарди о том, что при вакуумном прессовании улучшается текучесть порошков и наблюдается более плотная укладка порошка при загрузке в формующую полость матрицы, что снижает степень обжатия порошка при его прессовании.

Вакуумное прессование следует применять для формования изделий из тонких порошков, имеющих незначительную текучесть.

Недостатком вакуумного прессования является также малая производительность по сравнению с обычным прессованием, так

как часть времени должна уходить на откачку воздуха из матрицы перед ее заполнением, и сложная конструкция пресс-формы.

В последнее время разработан метод прессования изделий из металлического порошка в пресс-формах, где вместо одного из пуансонов (обычно вместо нижнего) применяется предварительно спрессованный брикет или несколько брикетов (рис. 10). Этим способом можно прессовать как длинные, так и короткие брикеты простой конфигурации по высоте. Принцип работы такой пресс-формы заключается в том, что предварительно спрессованные брикеты, занимающие нижнюю часть формующей полости матрицы, силой трения удерживаются в ней и являются заменой нижнему пуансону. Верхний пуансон, передавая давление на порошок, засыпанный в пресс-форму, уплотняет его (прессование односторонее). Когда усилие, передаваемое от пуансона через прессуемый порошок на нижние брикеты, достигнет определенного предела, все брикеты, в том числе и вновь спрессованный, передвинутся вниз на расстояние, равное высоте спрессованного брикета. Величина усилия прессования для получения брикета определенной плотности должна быть равна силе трения, удерживающей нижние брикеты в пресс-форме. После проталкивания пуансон поднимается вверх и выходит из матрицы. В освободившуюся полость засыпается порошок, и цикл прессования повторяется.

Для получения длинных стержней перед засыпкой очередной порции порошка можно разрыхлять верхний слой спрессованного брикета, что улучшит схватывание порошка на границе двух засыпок. Для этой цели в некоторых случаях верхний пуансон делается с насечкой на торце.

При изготовлении коротких стержней перед очередной засыпкой в матрицу укладывается прослойка из бумаги.

В описываемом процессе важную роль играет вопрос регулировки усилия прессования и силы для проталкивания брикетов.

Прессование в закрытых пресс-формах с приложением вибрации

Основным недостатком холодного прессования в закрытых пресс-формах является необходимость приложения больших давлений, а так как в момент прессования порошок оказывает еще и абразивное действие на стенки формующей полости, это приводит к сравнительно быстрому износу формующих элементов.

Применение вибрации при прессовании позволяет снизить величину прилагаемого давления примерно в 100 раз. Для этой цели [16] использовался механический вибратор с частотой 233 *гц* и амплитудой 0,03 *мм* (рис. 11). Вибратор был соединен гибким валом с булавой, расположенной под пресс-формой на пружинах. Время вибрационного прессования для смесей твердых сплавов составляло 4—10 *сек*.

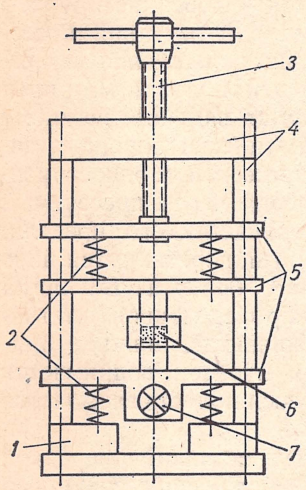


Рис. 11. Схема пресса для вибрационного прессования:

1 — основание пресса; *2* — пружины; *3* — нагрузочный винт; *4* — станина; *5* — промежуточные плиты; *6* — пресс-форма; *7* — вибратор.

Уплотняя жаропрочные соединения в течение 5—15 *сек*, можно получить плотности прессовок до 90% теоретического значения, после чего дальнейшего уплотнения не происходит [8].

При уплотнении порошка меди приложение давления перед включением виброустройства (амплитуда ±12,5 *мм*, частота 270 *гц*, продолжительность 10—160 *сек*) существенно снижает плотность изделия. Величина промежутка времени между приложением вибрации и более поздним приложением давления практически не влияет на плотность [35].

Пакетное прессование

Пакетным прессованием можно получать листы, диски и пластины различной конфигурации в плоскости, перпендикулярной оси приложения давления. Процесс пакетного прессования заключается в следующем. Прессуемый порошок помещается в полость, образованную двумя плитами из твердой стали, и матрицу в виде рамы из легко деформируемой проволоки или ленты. Проволока (лента) формует боковые стороны листов или пластин, причем, деформируясь, позволяет уплотнить порошок в направлении усилия прессования. Этим способом можно прессовать одновременно несколько деталей.

При такой разновидности пакетного прессования отсутствует трение о боковые стенки пресс-формы, как это имеет место в закрытых пресс-формах, однако появляется необходимость прикладывать некоторое давление, расходуемое на деформацию рамы, в которой заключен порошок.

Данный способ не позволяет прессовать высокие изделия, так как ограничение накладывает деформация рамы. Рама может служить только один раз. Деформация рамы иногда приводит к необходимости механической обработки боковых сторон прессовок. Максимальное прилагаемое давление зависит от коэффициента трения между материалами плиты и рамы, сопротивления сдвигу материала рамы и ее размеров.

За два года до опубликования описанного выше способа был предложен способ [32] пакетного прессования тонких металлокерамических деталей в закрытой пресс-форме с применением промежуточных стальных шайб или пластин толщиной 2—3,5 *мм* (рис. 12). Метод позволяет прессовать фрикционные диски толщиной 0,4—1,5 *мм*, причем в отличие от предыдущего способа боковые стороны дисков не требуют никакой обработки. Такой метод прессования позволяет добиться почти одинаковой плотности всех дисков, прессуемых в пакете (разница в плотности не превышает 1—3%). Способ целесообразен, поддается автоматизации и производителен для прессования любых тонких металлокерамических изделий типа шайб или пластин любой конфигурации в плане.

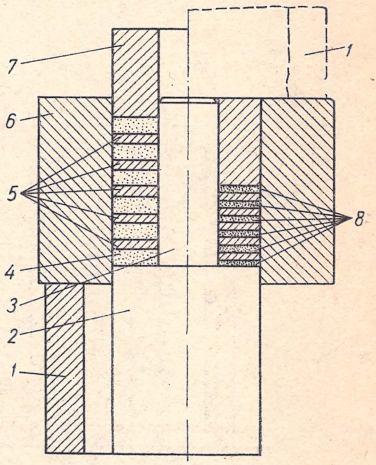


Рис. 12. Схема пресс-формы для пакетного прессования шайб:
1 — подставка; *2* — нижний пуансон; *3* — стержень; *4* — порошок; *5* — промежуточные стальные шайбы; *6* — матрица; *7* — верхний пуансон; *8* — спрессованные изделия.

Стальные прокладки, закладываемые между деталями, можно использовать неоднократно.

Изостатическое прессование

Изостатическим называется такой технологический процесс прессования металлокерамических изделий, при котором помещенный в оболочку порошок обжимается в требуемых направлениях находящимся под давлением рабочим телом. Рабочим телом может быть жидкость (и тогда прессование называется гидростатическим), газ или толстостенные эластичные оболочки.

Основные закономерности гидростатического процесса прессо-

вания, его режимов и оборудования разработаны в СССР Б. А. Бороком и его сотрудниками.

При гидростатическом или газовом прессовании порошок помещается в эластичные резиновые (полимерные) или мягкие металлические оболочки, которые, свободно деформируясь под давлением рабочего тела, не препятствуют всестороннему обжатию порошка, в то же время предохраняют его от проникновения рабочего тела в прессовку и служат передатчиком давления (рис. 13).

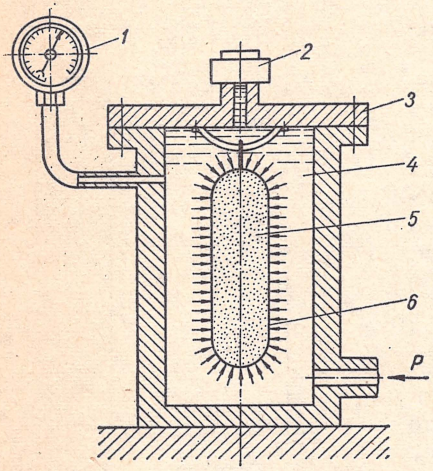


Рис. 13. Схема гидростатического прессования металлических порошков:
1 — манометр; *2* — предохранительный клапан; *3* — крышка; *4* — жидкость; *5* — прессуемый порошок; *6* — эластичная оболочка.

При изостатическом прессовании требуемое давление меньше, чем при прессовании в закрытых пресс-формах.

Мощность насоса, подающего рабочее тело в камеру, можно уменьшить за счет последующего подогрева рабочего тела, находящегося в камере. В этом случае насос необходим только для создания предварительного давления, а окончательное давление создается за счет температурных напряжений жидкости (газа) в замкнутом объеме камеры.

Такой метод применяется также для прессования изделий из смеси порошков металлов и термореактивных пластмасс. При нагреве рабочего тела происходит одновременно полимеризация пластмассы.

Способ прессования в толстостенных оболочках заключается в следующем. Эластичная оболочка, служащая одновременно как собственно оболочкой, так и рабочим телом, получается отливкой из жидких пластиков (агар-агар, раствор желатины, поливинилхлорид и т. д.). Моделью при этом служит соответствующий шаблон изделия, выполненный с учетом дальнейших изменений при прессовании порошка, спекании брикета и припусков на механическую обработку (если таковая предусмотрена технологическим процессом).

После застывания материала оболочки модель извлекается через отверстие, служащее впоследствии для заполнения формы

порошком. Форму можно изготовить и из нескольких составных частей, рационально выбрав плоскости разъема. Это может значительно облегчить извлечение спрессованного изделия из оболочки и продлить срок службы последней. Эластичная оболочка заполняется порошком (отверстие закрывается специальным вкладышем из этого же материала) и помещается в закрытый стальной контейнер. При давлении, передаваемом пуансоном, эластичная оболочка, деформируясь, обжимает порошок, находящийся внутри, и уплотняет его.

Для получения изделия этим способом необходимо давление примерно 150—200 *Мн/м*². Прессованием в эластичной оболочке можно получить такие сложные детали, как турбинные лопатки, шестерни, а также насадки-сопла в виде двойного обратного конуса и другие сложные детали.

При изостатическом прессовании отсутствует какое бы то ни было внешнее трение в брикете, и поэтому можно получить изделие любых соотношений длины и поперечного сечения. Длина изделия в данном случае регламентируется только габаритными размерами рабочей камеры установки. В результате отсутствия внешнего трения прессовка по своей высоте во всех сечениях будет иметь одинаковую плотность. Изменение плотности может быть только при переходе от периферии к центру, что объясняется наличием так называемого «арочного эффекта», возникающего при обжатии.

Изменение плотности больше у тел цилиндрической и шарообразной формы (у прессовок из медного порошка до 2% при средней плотности около 65%) и меньше у прессовок с прямоугольным сечением.

Для лучшей укладки порошка в эластичной форме перед прессованием применяют встряхивание с последующим добавлением порошка. Кроме того, производят вакуумирование порошка, загруженного в оболочку, так как в противном случае при обжатии воздух, находящийся внутри оболочки, сжимается, создавая в прессовке добавочные напряжения.

К недостаткам данного метода относится малая производительность по сравнению с прессованием в закрытых пресс-формах, недолговечность эластичных оболочек, служащих в основном 1—3 раза, затруднения в соблюдении точных размеров прессовок, необходимость в большинстве случаев последующей механической обработки поверхности брикета.

Большим преимуществом метода изостатического прессования является достижение высокой степени равномерного распределе-

ния плотности, простота установки и возможность получения достаточно высоких плотностей при сравнительно низких давлениях прессования.

Кроме того, при изостатическом прессовании исключается применение дорогостоящих стальных пресс-форм, особенно при получении изделий сложной формы.

Центробежное формование

Центробежное формование производится за счет приложения центробежных сил к частицам порошка, загружаемого в форму либо в виде суспензии, либо в виде смеси с небольшим количеством наполнителей-связок, а также сухого порошка.

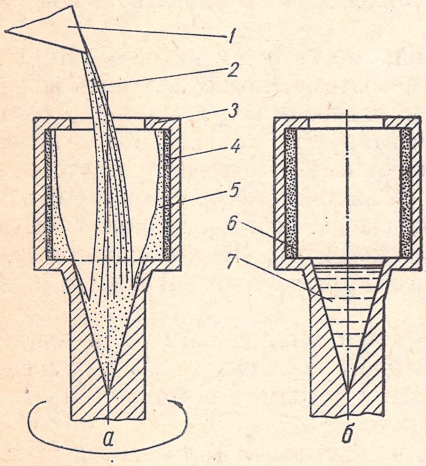


Рис. 14. Схема центробежного прессования:

а — центрифугирование; *б* — положение после остановки шпинделя; *1* — лоток; *2* — эмульсия; *3* — матрица; *4* — отцентрифугированный порошок; *5* — слой жидкости; *6* — заготовка; *7* — жидкость.

Примерная схема центробежного формования порошка, вводимого в матрицу в виде суспензии, показана на рис. 14. При быстром вращении матрицы происходит центрифугирование порошка, который оседает на стенках матрицы и при этом уплотняется. После оседания порошка жидкость сливается, а заготовка извлекается из матрицы и подвергается спеканию. Центробежное формование порошка, как сухого, так и с наполнителем-связкой, заключается в прижатии его к стенкам матрицы под действием центробежной силы, возникающей при быстром вращении пресс-формы. Сцепление между частицами механическое (при сухом порошке) или с помощью клейких добавок-связок.

Здесь необходимо указать, что даже для получения изделий небольшой плотности, формуемых из сухого порошка, требуются большие числа оборотов матрицы. Применяя связующие добавки, этот процесс можно производить с меньшим количеством оборотов. Кроме того, применяя способ заливки суспензии, можно получать изделия со сложной конфигурацией наружной поверхности и ци-

линдрическим отверстием посредине. Выступы должны иметь радиальное направление.

Поскольку центробежная сила, прикладываемая к каждой частице, достаточно мала, то даже при формовании детали, имеющей узкие длинные выступы, можно получить практически равную плотность во всех частях формуемого изделия.

Отмечено, что детали сложной конфигурации с равномерной плотностью всех элементов несмотря на большую пористость при спекании, уменьшая размеры, сохраняют приданную им форму. Однако, применяя этот способ формования, трудно получить после спекания точные размеры изделия.

Формование в электрическом (электромагнитном) поле

При этом способе формования статическое давление пресса (или рабочего тела) заменяется кинетической энергией частиц порошка, получающих ускорение в результате воздействия электрического (для немагнитных порошков) или электромагнитного (для ферромагнитных порошков) поля. Под воздействием кинетической энергии такого поля частицы порошка, попадая в неподвижную (или перемещающуюся) матрицу, укладываются плотным равномерным слоем. После формования изделие подвергается обычному спеканию.

Ударное прессование

Ударное прессование относится к методам формования с мгновенно возрастающим давлением. Оно производится аналогично прессованию с непрерывно возрастающим давлением в закрытых пресс-формах, только усилие прессования может передаваться на пуансоны при помощи молота или быстроходного пресса. В некоторых случаях прикладывается усилие, возникающее при потере кинетической энергии плиты, получающей начальное ускорение с помощью взрыва порохового (или какого-либо другого) заряда. Такой вид ударного прессования часто относят к формованию взрывом. Однако в данном случае взрыв служит только вспомогательным средством, тогда как при взрывном формовании последнее производится непосредственно взрывной волной, распространяющейся в воздухе или жидкости.

Ударное прессование может быть одно- или двухсторонним (рис. 15). При ударном прессовании значительно уменьшаются упру-

гие последействия в спрессованном изделии. Можно получить детали сравнительно высокой относительной плотности (до 90—92%).

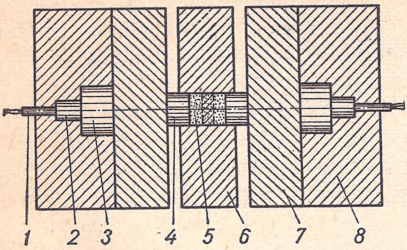


Рис. 15. Схема пресс-формы для двухстороннего ударного прессования:

1 — детонатор; *2* — усилитель детонатора; *3* — взрывчатое вещество; *4* — пуансон; *5* — порошок; *6* — матрица; *7* — буферная плита; *8* — концевая плита.

Применяя способ ударного прессования с помощью химической энергии взрыва, можно отказаться от дорогого прессового оборудования. Правда, до настоящего времени в литературе не сообщалось сведений об ударном прессовании изделий более сложной конфигурации, чем обычные брикеты.

Электрогидродинамическое прессование

Электрогидродинамическое прессование заключается в том, что порошок уплотняется с помощью ударной волны, возникающей в рабочем теле при электрическом разряде.

В установке для электрогидродинамического прессования (рис. 16) порошок засыпается в полость, образованную матрицей и эластичной тонкостенной оболочкой. Внутрь оболочки заливается жидкость и помещаются электроды.

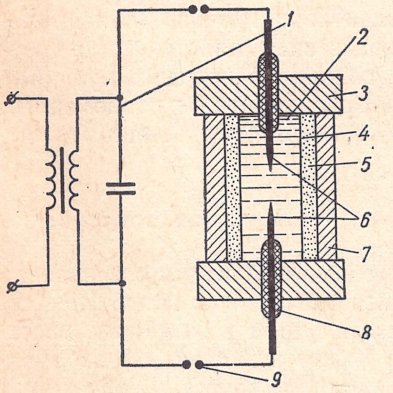


Рис. 16. Схема установки для электрогидродинамического прессования:

1 — разрядное устройство; *2* — жидкость; *3* — крышки формующей полости; *4* — эластичная оболочка; *5* — порошок; *6* — электроды; *7* — матрица; *8* — изолятор; *9* — дополнительный искровой промежуток.

При электрическом разряде давление в камере резко возрастает, рабочее тело передает давление через пленку на порошок и последний уплотняется. При помощи приведенной схемы в закрытой емкости объемом 0,0015 $м^3$ в момент электрического разряда можно получить давление до 200 $Мн/м^2$ [34].

В связи с тем что при таком способе формования нельзя достичь высоких давлений, порошок, предназначенный для уплотнения, следует предварительно смешивать со связующим наполнителем. Детали получаются с большой пористостью.

Используя подобный энергетический источник, можно производить уплотнение также по схеме гидростатического прессования, когда порошок весь находится в оболочке.

Электромагнитное прессование

Способ электромагнитного прессования основывается на использовании магнитного поля, возникающего в коаксиальных проводниках при прохождении импульсного тока [41].

Магнитное поле, возникающее между расположенными концентрически по оси двумя трубчатыми проводниками, действует так же, как сжатый газ, помещенный в пространстве между ними, т. е. давит на внутреннюю поверхность внешнего проводника и внешнюю поверхность внутреннего. Внутренний проводник изготавливается из тонкостенной (чаще медной) трубы, внутрь которой засыпается порошок и вставляется центральная стальная оправка. Наружный проводник изготавливается из нержавеющей стали. Между проводниками прокладывается изолирующая прокладка. Такая система проводников подсоединяется к батарее конденсаторов. При разряде конденсаторов ток в проводниках имеет разное направление и образует два встречных магнитных поля. Магнитное поле обжимает тонкостенную медную трубку и помещенный в ней порошок вокруг стального сердечника с давлением, равным примерно 350 *Мн/м*^{2}. После этого удаляется стальная оправка-сердечник, а оболочка снимается при помощи травления кислотой. Затем производится спекание.

Этим методом получают трубки длиной более 7,5 *м* из молибдена, вольфрама и их смесей с окислами урана, причем плотность полученных материалов составляла 81—97% теоретической.

Прессование взрывом

Прессование взрывом представляет собой способ формования порошка, помещенного в пластичную (из легко деформируемого металла) или эластичную (пластмассовую, резиновую) оболочку и уплотняемого мгновенно возрастающим давлением взрывной волны.

Такому уплотнению может подвергаться как свободно насыпанный в эластичную (пластичную) оболочку порошок, так и заготовки, полученные предварительно прессованием или прессова-

нием и спеканием. Прессование взрывом может производиться на воздухе, в воде или в какой-либо другой жидкой или газообразной среде.

Устройство, например, для взрывного прессования может представлять оболочку-контейнер из пластичного металла (обычно свинца), наполненную порошком и обматываемую детонирующим шнуром. Детонирующий шнур изолируется специальной прокладкой, и контейнер помещается в закрытый сосуд с водой. При взрыве давление передается окружающей средой (в данном случае водой) на оболочку и обжимает помещенный в ней порошок.

Если при прессовании на воздухе используется только незначительная часть энергии взрыва, то при прессовании в воде, в закрытом сосуде, благодаря тому что взрыв происходит в замкнутом объеме и более плотной среде, чем воздух, энергия взрыва используется во много раз полнее, позволяя значительно уменьшить заряд. Однако во втором случае усложняется конструктивное оформление процесса.

При прессовании металлических порошков с помощью взрыва можно получить прессовки с равномерно распределенной плотностью, достигающей 90% теоретической. При прессовании предварительно спеченных брикетов можно получить изделия с плотностью до 99,3—99,9%.

При взрывном прессовании отпадает необходимость в специальном оборудовании. Недостатком является малая производительность процесса.

Шликерное литье

Холодное формование без приложения давления можно в настоящее время осуществлять только методом шликерного литья.

Способ формования шликерным литьем заключается в следующем. Приготавливается жидкая пульпа — шликер из металлического порошка, связующей жидкости и стабилизирующих добавок. Для неокисляющихся металлов и нержавеющих сталей связующей жидкостью является вода, для окисляющихся — спирты. В качестве стабилизирующих добавок используются альгинаты натрия и аммония. Для уменьшения межфазного поверхностного натяжения вводятся специальные добавки [38].

Этот метод лучше всего применять для плохо прессующихся порошков.

Подготовленную соответствующим образом пульпу, имеющую определенную консистенцию, выливают в формы из керамики,

гипса или специального картона. Жидкая среда отфильтровывается (отсасывается) через поры формы, а порошковая масса плотным и равномерным слоем постепенно заполняет полость. После того как форма заполняется порошковой массой полностью, производится сушка этой массы вместе с формой. После просушки форма удаляется, а заготовку подвергают окончательной просушке и спеканию. Иногда для шликерного литья применяются пластмассовые формы, которые можно использовать неоднократно.

Для изготовления шликера рекомендуется выбирать порошки с размерами частиц 5—10 *мкм*, так как более грубые частицы не дают хорошей суспензии. При шликерном литье получаются заготовки с плотностью 30—60% теоретической. Связь между частицами осуществляется механическим зацеплением и связующими веществами. Прочность заготовок после извлечения из формы зависит от их влажности, а также содержания и свойств связующих веществ.

Шликерным литьем могут быть получены изделия самой различной конфигурации и размеров, начиная от простейших брусков и кончая турбинными лопатками.

ПРЕРЫВИСТОЕ ГОРЯЧЕЕ ФОРМОВАНИЕ

Горячее формование с постоянным или постепенно возрастающим давлением производится так же, как и холодное, и отличается только тем, что процесс происходит при температуре, несколько превышающей температуру рекристаллизации материала или одной из его составляющих (при сложном составе шихты).

Вторым отличием является возможность производить процесс при постоянном давлении, так как при воздействии двух других составляющих процесса — температуры и времени — снимаются напряжения на поверхности частиц, ускоряется процесс диффузии и другие процессы, происходящие во время формования, что приводит к уплотнению порошка.

При холодном формовании основным в создании прочности спрессованного изделия, достаточной для проведения дальнейших операций, является механическое зацепление частиц между собой; при горячем формовании механическое зацепление почти не имеет значения. Практически горячее прессование представляет собой совмещение в одной операции прессования и спекания.

Не следует смешивать процесс горячего прессования с процессом прессования с подогревом, который обычно происходит при

температуре ниже температуры рекристаллизации и представляет собой промежуточное звено между холодным и горячим формованием.

В результате объединения операций прессования и спекания горячее формование позволяет при сравнительно невысоких давлениях получать изделия плотностью, достигающей 100% теоретической, недостижимой при холодном формовании с раздельными операциями прессования и спекания.

По затрате энергии горячее формование является более выгодным, так как расход энергии, потребляемой на получение изделия высокой плотности, при горячем прессовании в 6 раз меньше, чем при двухкратном холодном формовании и спекании [6].

Вместе с тем горячее прессование является более длительным процессом, чем раздельное прессование и спекание, так как спекание производится при горячем прессовании непосредственно для каждого изделия отдельно, а при раздельном процессе имеется возможность производить спекание одновременно для большого количества спрессованных изделий.

Прессование в закрытых пресс-формах

Обычно при горячем прессовании в закрытых пресс-формах последние изготавливаются из графита или футеруются им. Иногда при температурах до 850° С для пресс-форм могут быть использованы жаропрочные сплавы типа нимоник, инконель и др. [31].

Институт металлургии АН СССР разработал никелевый многокомпонентный сплав, который с успехом может служить для изготовления пресс-форм горячего прессования. Этот сплав позволяет производить горячее прессование при температуре до 1000° С и давлении до 150 *Мн/м*^{2} [14].

При изготовлении изделий с большой высотой (в направлении оси приложения усилия прессования), требующих очень высоких пресс-форм, процесс горячего прессования позволяет осуществить следующий прием [30]. Предварительно применяется холодное прессование порошка в заготовки требуемых размеров. Плотность таких заготовок должна быть достаточной только для перегрузки их из одной пресс-формы в полость другой (для металлических порошков требуемое давление находится в пределах 70—150 *Мн/м*^{2}). Затем производится горячее прессование этих заготовок. Дополнительная операция несколько усложняет процесс, но дает выигрыш во времени уплотнения, в повышении защитных свойств про-

тив окисления и в облегчении самого процесса горячего прессования.

Защита прессуемых горячим прессованием деталей от окисления является весьма важной проблемой. При использовании графитовых пресс-форм этот вопрос решается сравнительно просто. При нагреве графит выгорает и образующаяся окись углерода является надежной защитной средой. При применении металлических пресс-форм часто применяется вакуум или инертная среда.

Нагрев формуемого материала в пресс-форме может производиться различными способами, однако чаще всего применяется электронагрев с элементом сопротивления, которым служит либо сама пресс-форма (прямой нагрев), либо детали, окружающие пресс-форму (косвенный нагрев). В некоторых случаях применяется прямой или косвенный нагрев токами высокой частоты [30].

Пакетное прессование

Горячее пакетное прессование отличается от холодного только тем, что процесс производится с подогревом формуемого материала, осуществляемого с помощью специальных нагревательных элементов. Этот процесс описан в работе [30].

Изостатическое прессование

Изостатическое горячее прессование осуществляется с подогревом формуемого порошка и рабочего тела.

Схема одной из разновидностей установок для такого прессования с односторонним приложением давления изображена на рис. 17. Такая установка применяется для прессования труб из порошка бериллия [31]. Уплотнение порошка производится с помощью расплавленного свинца при температуре 800—850° С. В установке давление рабочего тела передается на прессуемый порошок только с внутренней стороны, где помещена деформируемая оболочка в виде стальной тонкостенной трубы. Корпус установки и ее рабочие части изготовлены из нимоника 80.

Аналогичен метод гидростатического прессования порошка в стальной тонкостенной оболочке. Порошок подвергается всестороннему обжатию с помощью нагнетаемого (плунжером) в камеру расплавленного свинца. Камера нагревается внутри электрическим током и предохраняется от расширения прочным стальным кожу-

хом, охлаждаемым снаружи водой. От кожуха камера отделена теплоизоляцией.

В США разработан метод изостатического прессования порошков бериллия, церия, нержавеющей стали, тантала и целого ряда других материалов давлением инертного газа. Уплотнение производится в стальном или молибденовом легко деформируемом контейнере, помещенном в рабочее пространство специального автоклава, где возможно поддерживать давление 70—105 $Мн/м^2$ и температуру до 1600° С.

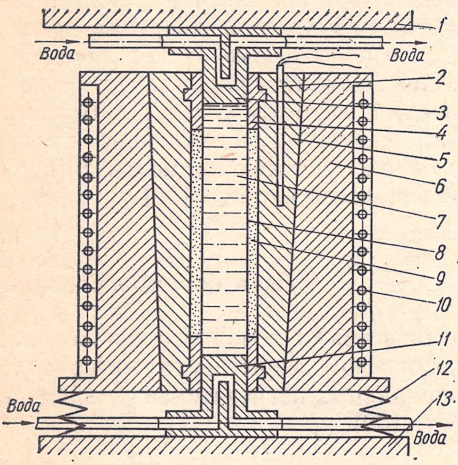


Рис. 17. Схема установки для горячего гидростатического формования изделий:
1 — верхняя плита пресса; *2* — термопара; *3* — верхний плунжер; *4* — вкладыш; *5* — матрица; *6* — обойма; *7* — жидкий свинец; *8* — тонкостенная стальная труба; *9* — порошок; *10* — нагреватель; *11* — нижний плунжер; *12* — пружина; *13* — нижняя плита пресса.

При горячем изостатическом прессовании наиболее эффективное уплотнение достигается для порошков сферических форм. Порошки, частицы которых имеют неправильную форму, требуют предварительного холодного уплотнения.

Центробежное формование

Горячее центробежное формование металлических порошков производится в защитной или инертной газовой среде, а также в вакууме. Схема установки для горячего центробежного формования изображена на рис. 18.

Формование производится в разборной матрице *7*, устанавливаемой на шпинделе. Заполнение матрицы шихтой производится во время вращения с помощью лотка *11*, поворачивающегося на оси *12*. Рычаг оси выведен за пределы камеры. Заполнение в некоторых случаях можно производить при неподвижной матрице. При этом крышка с лотком заменяется плоской крышкой, что значительно уменьшает емкость камеры.

Нагрев производится с помощью индуктора *6*, включаемого в то время, когда шпинделю сообщено требуемое количество оборотов и шихта равномерно расположена по формующей стенке матрицы.

В зависимости от спекаемого материала матрица может быть изготовлена из керамики, графита или жаропрочных сталей. Особое внимание следует обращать на предотвращение припекания шихты к материалу матрицы.

Люк *14* служит для заполнения лотка шихтой после установки крышки *13* на корпус камеры *1*.

Этим методом можно получать изделия различных диаметров. Максимальный размер зависит практически только от величины и мощности нагревателя. Недостаток метода заключается в небольшой производительности, которую, однако, можно увеличить, снабдив камеру шлюзовым устройством и выталкивателем спеченного изделия.

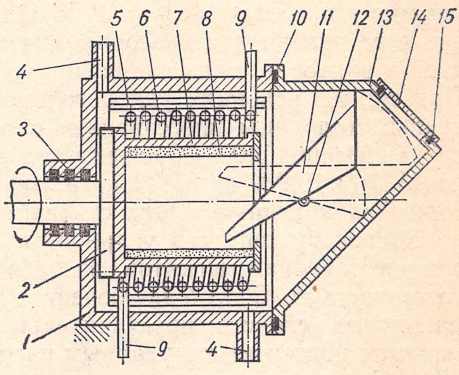


Рис. [18. Схема установки для горячего центробежного формования:
1 — корпус камеры; *2* — шпиндель; *3* — уплотнение; *4* — патрубки; *5* — термоизоляционный экран; *6* — индуктор; *7* — разборная матрица; *8* — шихта; *9* — выводы индуктора; *10* — уплотнение крышки; *11* — лоток; *12* — ось лотка; *13* — крышка; *14* — люк; *15* — уплотнение люка.

Ударное прессование

При горячем ударном прессовании можно получить изделия более плотные, чем при холодном ударном прессовании с последующим спеканием. Правда, изделия, полученные горячим ударным прессованием, в некоторых случаях также требуют последующего спекания или отжига.

Процесс ударного прессования заключается в следующем. Из порошка холодным прессованием на гидравлическом прессе прессуется заготовка, которая затем прогревается в восстановительной среде и допрессовывается под копром или молотом. При этом получаются изделия с различным коэффициентом относительной плотности (максимальное значение коэффициента 1,0).

В работе [11] рассматривается влияние различных факторов на процесс ударного прессования Сулинского железного порошка марки ПЖЗМ и влияние плотности спрессованного материала на его механические свойства. Авторы утверждают, что горячее ударное прессование наиболее целесообразно для получения изделий с коэффициентом относительной плотности 0,85—1,0.

Известен способ горячего ударного прессования изделий из композиции молибден-двуокись урана. Изделия получаются уплотнением заготовок, полученных холодным прессованием или прокаткой смеси порошков молибдена и двуокиси урана и таких же порошков с примесью 1% двуокиси тория или 0,5% двуокиси титана. Предварительно спеченные заготовки нагреваются с помощью индуктора до 1000—1750° С и уплотняются в штампе. Заметное уплотнение наблюдается при нагреве до температуры свыше 1500° С. Относительная плотность прокатанных заготовок, подвергнутых ударному прессованию при 1700° С и давлении 975 *Мн/м²* с последующим четырнадцатичасовым спеканием при этой же температуре в водороде, повышается примерно на 11% (с 85,5 до 96,2%). При тех же условиях ударного прессования для заготовок, полученных холодным прессованием с последующим предварительным спеканием при 1400° С, достигается увеличение плотности примерно на 15% (с 79,9% до 95,3%). Добавки двуокиси титана и двуокиси тория на конечную плотность влияния не оказывают.

К способу горячего ударного прессования можно отнести способ изготовления магнитов, разработанный А. Б. Альтманом и его сотрудниками. Способ заключается в том, что с целью повышения магнитных свойств предварительно спрессованные и спеченные магниты подвергались ударным нагрузкам при температуре 1200—1350° С.

Прессование взрывом

При горячем прессовании взрывом чаще всего формуется не порошок, заключенный в оболочку, а предварительно полученная заготовка. Горячее прессование взрывом значительно увеличивает механические свойства материалов. Особенно это заметно при обработке тугоплавких металлов, в частности молибдена. Предварительно полученная заготовка из порошка молибдена нагревается до температуры 1000° С и подвергается действию взрывной волны. Если изделие, полученное из молибденового порошка прессованием и спеканием при 316° С, имеет удлинение $\delta = 2 \div 4\%$, то после взрывного прессования при скорости взрывной волны 500—1000 *м/сек* удлинение возрастает до величины $\delta = 4 \div 9\%$, а при 4000—5000 *м/сек* — до $\delta = 18 \div 30\%$ (при увеличении взрывной волны до 8000—9000 *м/сек* удлинение падает до 16÷22%).

Формование свободной насыпкой с виброукладкой

Этот метод применяется в тех случаях, когда необходимо получить металлокерамические изделия с большой пористостью. Такими изделиями являются прежде всего фильтры. Формующая емкость предварительно покрывается слоем, предохраняющим от припекания материала фильтра. Затем форма засыпается порошком, который подвергается вибрации или встряхиванию для укладки частиц. После укладки порошка образующуюся емкость заполняют и опять подвергают встряхиванию или вибрации. Так продолжается до тех пор, пока порошок полностью заполнит формующую полость. Спекание производится в форме. После спекания из формы извлекается готовое изделие.

Химическое формование

Процесс химического формования заключается в том, что через засыпанный в форму порошок пропускают газообразное соединение металла, разлагающегося при нагреве на металл и газообразный продукт. Такими соединениями чаще всего могут быть карбонилы металлов. Форма с порошком нагревается до температуры разложения карбонила, причем металл оседает на поверхности частиц порошка, а окись углерода удаляется.

Постепенно поры между частицами порошка заполняются выделившимся металлом и заготовка приобретает прочность, достаточную для извлечения из формы и проведения дальнейших операций (в частности, спекания). Метод позволяет получать изделия сложной формы, например турбинные лопатки из никелевого сплава, легированного хромом, кобальтом, титаном, алюминием, углеродом и бором.

Основным недостатком способа химического формования является длительность процесса. В ходе процесса скорость осаждения металлов из карбонильных соединений падает, так как поры постепенно закрываются и уменьшается протекание газа.

НЕПРЕРЫВНОЕ ХОЛОДНОЕ ФОРМОВАНИЕ

Формование в валках (прокатка) также как и формование в открытой пресс-форме (мундштучное прессование или экструзия, прессование скошенным пуансоном) являются разновидностями метода формования с постоянным или постепенно возрастающим давлением.

При прокатке металлокерамических изделий, также как и при прокатке компактных материалов, непосредственное окончательное формование производится линией, образованной наиболее сближенными частями формующих валков, хотя в процессе участвует доля поверхности валков, пропорциональная углу захвата α (рис. 19). При вращении валков порошок, благодаря силам трения, увлекается к месту окончательной формовки, т. е. к щели между валками. Уплотнение начинается в некотором сечении *а—а* и заканчивается в сечении *0—0*. При этом угол α, соответствующий участку предварительного уплотнения порошка, является углом захвата, а угол $\alpha_п$ (в зарубежных исследованиях часто именуемый углом захвата) — углом спрессовывания (составляет обычно величину 3—7° [7]). Таким образом, процесс прокатки порошка можно рассматривать как непрерывное формование с постепенным уплотнением от сыпучего состояния материала до жесткого пористого тела, происходящее в зоне очага деформации, которая начинается от сечения *а—а* и заканчивается в сечении *0—0*.

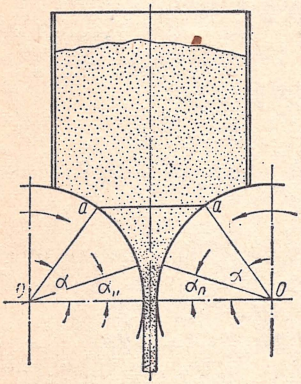


Рис. 19. Схема прокатки порошка.

Порошки можно прокатывать в вертикальном и горизонтальном направлениях, в зависимости от расположения клетей. В том и другом случаях порошок поступает в зону деформации под действием собственного веса. При горизонтальном направлении прокатки полученную ленту целесообразнее подавать в печь для последующего спекания. Горизонтальную прокатку можно производить, насыпая порошок из бункера на бумажную ленту и прокатывая совместно с лентой, которая либо очищается, либо сгорает при спекании. В некоторых случаях для улучшения захвата порошка валками его подают с некоторым давлением, сообщаемым прокатываемой шихте с помощью шнека (рис. 20, *г*).

Прокаткой порошков можно получить биметаллические ленты. Для этого в бункер вставляется перегородка, которая нижним срезом доходит до зоны деформации и разделяет подаваемые порошки (рис. 20, *а*). Таким же способом можно получить не только двойные ленты, но и многослойные (рис. 20, *б*). В этом случае в бункер

вставляется несколько перегородок, в зависимости от того, из скольких слоев требуется прокатать ленту.

Несколько отличается от приведенной выше технологии получение биметаллической ленты из компактного материала и металлокерамического слоя. В этом случае прокатка порошка производится совместно с компактной подложкой (рис. 20, *в*). После прокатки заготовка спекается или подвергается дополнительной горячей прокатке.

Холодной прокаткой порошка можно получать не только листы и ленту, но также другие простейшие профили (прутки, проволоку и т. д.). В этом случае производится прокатка не порошка, а предварительно спрессованных и спеченных брикетов-заготовок.

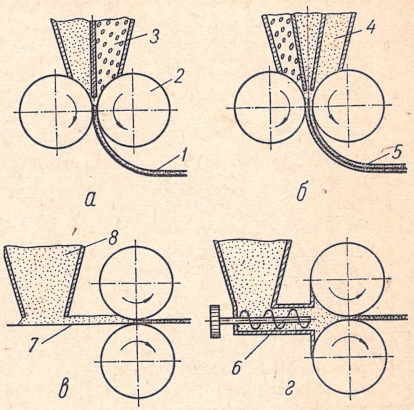


Рис. 20. Схема специальных методов прокатки порошка:
а — двухслойная; *б* — трехслойная; *в* — накатка порошка на металлическую заготовку; *г* — прокатка с принудительной подачей порошка; *1* — двухслойная лента; *2* — валки; *3* — двухсекционный бункер; *4* — трехсекционный бункер; *5* — трехслойная лента; *6* — шнек; *7* — лента-заготовка; *8* — бункер.

Мундштучное прессование

Процесс холодного мундштучного прессования заключается в том, что шихта (или специально подготовленные из нее брикеты), содержащая 6—10% пластификатора, пропускается под давлением через мундштук, имеющий конический вход и цилиндрическую (или любой конфигурации в поперечном сечении) формующую часть (рис. 21).

При мундштучном прессовании обжатие шихты происходит за счет давления, расходуемого на преодоление трения шихты о стенки отверстия. При одинаковой степени обжатия минимальное давление прессования смеси требуется в том случае, когда конус мундштука имеет угол 90°. Степень обжатия смеси должна составлять не менее 90% и может быть определена по формуле

$$\delta = \frac{S - S'}{S} \cdot 100\%, \qquad (6)$$

где S — площадь сечения цилиндра пресс-формы,

S' — площадь сечения выходного отверстия мундштука.

Повышение степени обжатия свыше 90% содействует увеличению плотности изделия.

В качестве пластификаторов для шихты, подвергающейся мундштучному прессованию, применяют парафин, декстрин, крахмал и др.

В работе [13] подробно рассмотрено влияние вида пластификаторов, его количества в смеси, влажности смеси, методов ее приготовления и сушки, гранулометрического состава порошка на качество получаемых изделий.

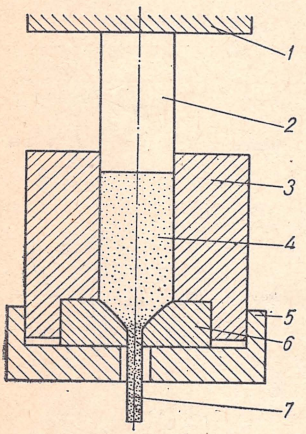


Рис. 21. Схема пресс-формы для мундштучного прессования:

1 — плита пресса; *2* — верхний пуансон; *3* — контейнер; *4* — шихта; *5* — основание; *6* — мундштук; *7* — обжатая заготовка.

Мундштучным прессованием можно получать не только стержни и прутки, но также трубы [29], заготовки фрез и других изделий, имеющих ось симметрии, совпадающую с направлением выдавливания. Для этого смесь порошка с пластификатором продавливается через отверстие соответствующей формы [33].

Обычно перед выдавливанием из мундштука шихту подпрессовывают при давлении 100—200 *Мн/м*^{2}, а затем производится собственно мундштучное прессование. При массовом производстве более целесообразно производить подпрессовку шихты вне пресс-формы для мундштучного прессования. В этом случае мундштучное прессование производится из брикетов-заготовок.

Прессование скошенным пуансоном

Прессование порошка производится в матрице, имеющей вид длинного желоба, периодически перемещающегося в процессе прессования навстречу скошенному пуансону (рис. 22).

В процессе прессования пуансон уплотняет только часть порошка, причем скошенная часть пуансона обжимает порошок таким образом, что получается плавный переход от брикета, уплотненного с требуемой плотностью, до свободно засыпанного порошка. После одного цикла уплотнения пуансон поднимается, матрица передвигается на некоторое расстояние навстречу пуансону, перемещая засыпаемый из бункера порошок, и пуансон уплотняет но-

вый участок прессуемого изделия. Длина и угол скошенной части пуансона определяются толщиной получаемой полосы, плотностью и прессуемостью порошка. При малых углах увеличивают длину скошенной части пуансона (при одинаковой толщине прессуемого изделия) и уменьшают скорость процесса. Малые углы предпочтительнее для полос небольшой толщины.

В настоящее время изготавливаются полосы шириной 25—50 *мм* [36], хотя можно получить и более широкие пластины, так как практически это зависит только от усилия прессования. Толщина может достигать 25 *мм* и выше.

При прессовании скошенным пуансоном требуется значительно меньшее усилие пресса, чем при наиболее распространенном способе прессования в закрытых пресс-формах. Так, например, для получения пластины из порошка меди с пористостью 10% и размерами 6,35×50,8×711,2 *мм* потребовалось бы при обычном прессовании усилие пресса, равное 36 *Мн* (площадь прессования 0,036 $м^2$, давление для достижения плотности 90% теоретической примерно равно 1000 $Мн/м^2$) [31]. При прессовании скошенным пуансоном достаточно было усилие пресса, равное 0,6 *Мн*, т. е. в 60 раз меньше [37].

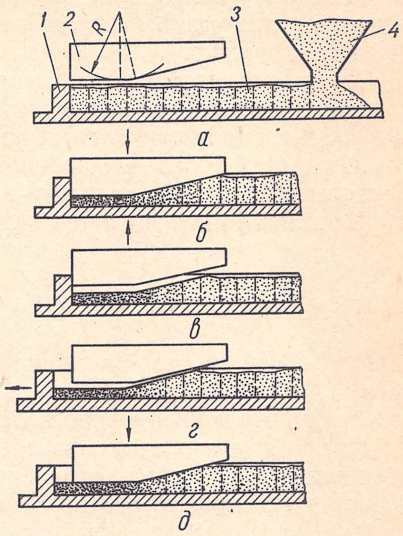


Рис. 22. Схема прессования скошенным пуансоном:
а — положение перед прессованием; *б* — первое прессование; *в* — подъем пуансона; *г* — передвижение матрицы; *д* — последующее прессование; *1* — матрица; *2* — скошенный пуансон; *3* — порошок; *4* — бункер.

Процесс прессования деталей скошенным пуансоном происходит медленнее, чем при обычном прессовании, однако, принимая во внимание стоимость тяжелых прессов, их тихоходность и другие факторы, можно утверждать, что применение скошенного пуансона для формования длинных пластин является наиболее рациональным способом. Кроме того, процесс прессования скошенным пуансоном легко автоматизировать.

Недостатком способа является ограниченность его применения (только для прессования изделий простой конфигурации).

Ударное выдавливание

Ударным выдавливанием обрабатываются только заготовки, причем обработка производится не по всему объему заготовки, а поверхностью фильера. Этим способом, например, производится выдавливание ударом изделий из заготовок спрессованного алюминиевого порошка.

Полученные этим методом изделия имеют прочность, превосходящую прочность кованого алюминия, особенно после длительной выдержки при высоких температурах.

Метод ударного выдавливания из металлических порошков позволяет получать изделия с тончайшими стенками, например трубы длиной 4200 *мм* и толщиной стенки 0,38 *мм* [40].

НЕПРЕРЫВНОЕ ГОРЯЧЕЕ ФОРМОВАНИЕ

Непрерывное горячее формование, так же как и непрерывное холодное, может производиться с постоянным, постепенно возрастающим и мгновенно возрастающим давлением.

Поскольку последний способ включает в себя только ударное выдавливание, отличающееся от производимого при холодном формовании предварительным нагревом заготовки, то в данном разделе рассматривать его нет смысла.

Прокатка листа и профиля

Горячая прокатка листа и профиля применяется в том случае, когда требуется получить беспористый прокат. Если при холодной прокатке, осуществляемой с целью уплотнения пористого проката, необходима работа нескольких клетей прокатного стана с промежуточным отжигом, то при горячей уплотняющей прокатке пористый прокат может быть переведен в беспористый всего за один пропуск через валки [6].

В этом случае операция спекания совмещена с нагревом ленты для горячей уплотняющей прокатки и схема производства существенно упрощается.

В работе [6] указывается также на возможность получения толстых однослойных и многослойных изделий горячей прокатки в вакууме 10^{-4} *мм рт. ст.* Сырые полосы, полученные холодной прокаткой, складываются в стопу, нагреваются и прокатываются

в вакууме. Полосы за один пропуск через валки спекаются между собой, образуя однослойную (если ленты-заготовки из одинакового материала) или многослойную (если материалы лент-заготовок разные) массу.

Разработан способ изготовления пустотелых цилиндрических изделий с помощью горячей поперечной прокатки в вакууме или защитной среде [6]. Прокатанную холодной прокаткой ленту (спеченную или сырую) нагревают в вакууме или защитной среде и подвергают прокатке. При этом лента, обжимаясь между валками, вновь своим концом заводится в валки, и ее слои в горячем состоянии навиваются друг на друга до требуемой толщины изделия (трубы или кольца). По мере увеличения толщины стенки проката валки соответственно автоматически раздвигаются с помощью специального устройства.

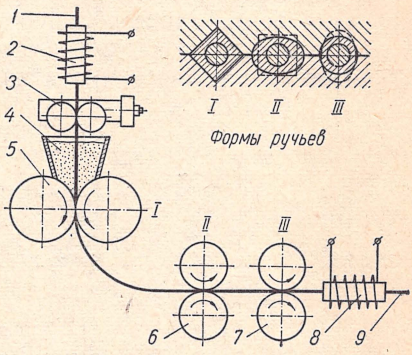


Рис. 23. Схема горячей прокатки биметаллической сталеалюминиевой проволоки:

1 — протравленная, обезжиренная, промытая и выровненная стальная проволока; *2* — индукционная протяжная печь; *3* — направляющее натяжное устройство; *4* — бункер-дозатор порошка; *5* — черновая (формовочная) клеть; *6* — первая чистовая (уплотнительная) клеть; *7* — вторая чистовая (уплотнительная) клеть; *8* — индукционная протяжная печь для отжига; *9* — биметаллическая сталеалюминиевая проволока.

Горячая прокатка обычно производится в защитной газовой среде, вакууме или защитной газонепроницаемой легко деформируемой оболочке. В последнем случае порошок засыпают в оболочку, имеющую вид плоского ящика или трубы, утрамбовывают и продувают нейтральным газом или откачивают воздух. При прокатке в защитной оболочке нагретый порошок спекается в заготовку, которая прокатывается в стане. При прокатке в вакууме или защитной газовой среде исходным продуктом служит также порошок, но он помещается не в оболочку, а на специальную подложку. При нагреве порошок спекается и в таком виде попадает в валки. В защитной среде или вакууме могут прокатываться заготовки, полученные прессованием или прокаткой порошка.

При прокатке порошка в оболочке можно подобрать режим (а также толщину и материал оболочки), при котором становится возможным прокатывать порошки таких металлов, как тантал, молибден, бериллий, кобальт, марганец и др., не поддающиеся

прокатке в обычных условиях. По-видимому, механизм действия оболочки при прокатке несколько приближается к механизму действия эластичной оболочки, т. е. обжатие близко к всестороннему.

При прокатке простейших профилей чаще всего применяется горячая прокатка предварительно спрессованных брикетов или ленты.

Разновидностью горячей прокатки профиля может считаться прокатка биметаллической проволоки.

Технология прокатки биметаллической проволоки несколько отличается от горячей прокатки листа и профиля. В этом случае производится накатка порошка на проволоку-основу.

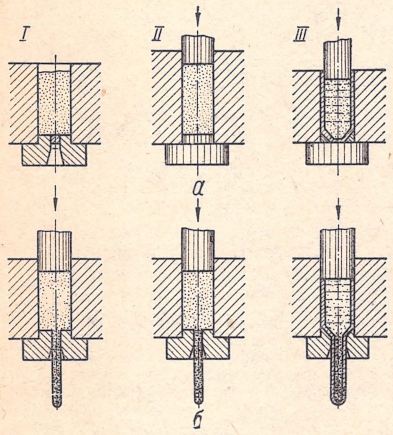


Рис. 24. Разновидности способа горячего мундштучного прессования:

а — исходное положение; *б* — прессование; *I* — со свободной насыпкой порошка; *II* — с предварительной подпрессовкой; *III* — с применением защитной оболочки.

Горячая накатка исключает длительный процесс спекания, имеющий место после холодной накатки, а это в свою очередь дает возможность сделать процесс непрерывным. Кроме того, при горячей накатке и дальнейшем совместном деформировании обоих металлов улучшается схватывание между ними. На рис. 23 изображена схема основных механизмов для прокатки биметаллической сталеалюминиевой проволоки по технологии, разработанной Институтом проблем материаловедения АН УССР [5].

Мундштучное прессование

Горячее мундштучное прессование в отличие от холодного производится в защитной среде, вакууме или защитной оболочке.

На рис. 24 изображены три разновидности способа горячего мундштучного прессования.

Горячее мундштучное прессование свободно насыпанной в форму шихты должно производиться в вакууме. В том случае, если шихта достаточно подпрессовывается в форме или (что выгодно при массовом производстве) подается в форму в виде специального приготовленного брикета, процесс прессования может производиться как в вакууме, так и в защитной среде.

При мундштучном прессовании в защитной оболочке нагрев и прессование производят в обычной атмосфере, так как оболочка предохраняет порошок от окисления. Так, например, при производстве изделий из жаропрочных сплавов шихту прессуют в небольшие штабики, которые запаивают под вакуумом в пластичную металлическую оболочку (из железа, никеля или хромоникелевого сплава), быстро нагревают до 950—1350° С и подвергают мундштучному прессованию. Уменьшение поперечного сечения заготовки при выдавливании чаще всего составляет 80—95%.

Технология горячего мундштучного прессования позволяет достичь 100% плотности металлов, минуя операцию спекания.

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЗАКРЫТЫХ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Способ холодного прессования в закрытых пресс-формах состоит из следующих операций: а) дозировка шихты; б) засыпка шихты в полость пресс-формы; в) прессование изделия; г) выдержка под давлением; д) выталкивание спрессованного изделия.

Зачастую, а в автоматических пресс-формах как правило, первые две операции объединяются в одну. Это имеет место в тех случаях, когда полость пресс-формы служит дозирующим элементом. Все перечисленные операции (кроме некоторых случаев дозировки) осуществляются непосредственно в пресс-форме.

При конструировании пресс-форм для холодного прессования необходимо стремиться к тому, чтобы все операции происходили за один цикл работы пресса.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАКРЫТЫХ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Применяемые в металлокерамическом производстве закрытые пресс-формы для холодного прессования могут быть классифицированы по целому ряду признаков, а именно:

1) по эксплуатационным особенностям — стационарные и съемные;

2) по принципу заполнения порошком полости пресс-формы — с весовой и объемной дозировкой;

3) по принципу прессования — одностороннего и двухстороннего прессования;

4) по конструкции матрицы — со сплошной, составной или сборной матрицей;

5) по количеству формующих гнезд — одногнездные и многогнездные;

6) по роду применяемых прессов — для специализированных и неспециализированных прессов;

7) по методу прессования — для неавтоматического и автоматического прессования;

8) по количеству слоев прессуемого изделия — для прессования однослойных и многослойных изделий;

9) по контролю за ходом прессования — для прессования металлокерамических изделий до упора и по окончательному давлению;

10) по сложности конфигурации прессуемого изделия — для прессования деталей определенной группы сложности.

Все виды формуемых металлокерамических изделий по сложности конфигурации можно разделить на семь групп:

I — изделия без отверстия, с неизменным сечением по высоте, ограниченные двумя параллельными плоскостями, перпендикулярными направлению прессования;

II — изделия с неизменными сечениями по высоте, ограниченные двумя параллельными плоскостями, с одним или несколькими отверстиями в направлении прессования, с отношением высоты изделия h к минимальной толщине стенки $s_{мин}$, равным $\frac{h}{s_{мин}} \leqslant 8 \div 10$;

III — изделия, относящиеся ко II группе, но с отношением $\frac{h}{s_{мин}} > 8 \div 10$;

IV — изделия с наружным или внутренним буртом и общим соотношением $\frac{h}{s_{мин}} \leqslant 6 \div 8$;

V — изделия, относящиеся к IV группе, но с отношением $\frac{h}{s_{мин}} > 6 \div 8$;

VI — изделия без отверстий, имеющие по высоте несколько сечений и переходов;

VII — изделия с отверстиями, имеющие несколько наружных или внутренних переходов в направлении усилия прессования, а также детали, ограниченные непараллельными плоскостями или криволинейными поверхностями, пересекающими ось направления усилия прессования.

Чем выше группа сложности деталей, тем обычно (с незначи-

тельными исключениями для съемных пресс-форм) сложнее конструкция прессующего инструмента.

Любая пресс-форма может быть достаточно точно охарактеризована совокупностью всех десяти перечисленных выше признаков.

Стационарные пресс-формы применяются обычно при массовом и крупносерийном производстве металлокерамических изделий. Съемные пресс-формы используются для изготовления опытных партий изделий и иногда при крупносерийном производстве изделий особо сложной конфигурации.

При прессовании изделий на специализированных прессах рабочий инструмент имеет сравнительно простую конструкцию и состоит обычно из матриц, стержней и пуансонов, движение которых осуществляется соответствующими механизмами пресса.

Конструкции пресс-форм для обычных прессов весьма сложны, особенно при автоматическом цикле прессования. В конструкции пресс-формы должны быть предусмотрены возможности регулировки высоты слоя порошка, величины хода отдельных пуансонов и движения матрицы. При работе на пресс-формах для металлокерамического производства контроль за процессом прессования и моментом окончания операции уплотнения порошка может осуществляться двумя методами.

При первом методе общее усилие прессования равно расчетному и контролируется манометром пресса (прессование по давлению), при втором — прессование производится до упоров, которые препятствуют дальнейшему перемещению пуансонов и матрицы (прессование до упора). Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Основными преимуществами метода контроля за ходом прессования по давлению являются меньший расход энергии на процесс прессования и меньшая опасность разрушения пресс-форм. Однако при этом методе труднее обеспечить постоянство высоты спрессованного изделия, повышаются требования к точности дозировки порошка.

При массовом производстве металлокерамических деталей целесообразней применять метод прессования до упора, позволяющий понизить требования к жесткости прессового оборудования и точности дозировки порошка.

Приступая к рассмотрению принципов конструирования пресс-форм, следует отметить следующие основные требования к их конструкции:

1) обеспечение формования изделий заданной формы и размеров с учетом изменений, происходящих в последующих операциях технологического процесса;

2) обеспечение равномерной плотности во всех частях изделия;

3) предупреждение образования трещин, расслоений и других видов брака;

4) осуществление наиболее простого выталкивания без разрушения спрессованного изделия;

5) обеспечение строгого взаимодействия всех рабочих частей;

6) обеспечение процессов заполнения, дозировки, прессования и выталкивания в автоматических пресс-формах за один цикл работы пресса;

7) конструкция должна быть надежной с максимально возможной простотой в изготовлении и эксплуатации, иметь минимальную стоимость и достаточную длительность срока службы (с учетом программы выпуска металлокерамических изделий).

При конструировании пресс-формы следует помнить, что прочность, твердость, идентичность свойств во всех частях изделия зависят в первую очередь от его равномерной плотности. Кроме того, неравномерная плотность вызывает большие внутренние напряжения во время дальнейшей обработки изделия, особенно при спекании, когда могут появиться неравномерные усадки различных его элементов, возникнуть коробление и даже трещины.

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ I, II И III ГРУПП СЛОЖНОСТИ

При прессовании изделий I и II групп сложности добиться равномерной плотности по всему сечению сравнительно легко, так как изделия имеют небольшую (по сравнению с диаметром d или толщиной стенки s) высоту h, а сложность конфигурации в плане практически не имеет значения. Гораздо труднее добиться равномерной плотности в деталях III группы сложности. В этом случае приходится применять принципы относительного перемещения матрицы и стержня, что позволяет значительно улучшить распределение плотности по всему сечению прессуемого изделия. При прессовании в пресс-форме, работающей по этому принципу, стержень, укрепленный в верхнем пуансоне, перемещаясь вместе с ним относительно неподвижной матрицы, благодаря силам трения, возникающим между движущейся боковой поверхностью стержня и частицами порошка, увлекает за собой эти частицы и перемещает их вдоль полости пресс-формы, выравнивая плотность по высоте изделия.

Так, например, в спрессованной в такой пресс-форме втулке высотой 60 *мм*, для которой соотношение $\frac{h}{s} = 10{,}5$, при общей пористости 27,6% пористость по высоте изменялась в пределах 27,4—28,8%, что вполне удовлетворительно. Однако такая конструкция пресс-формы достаточно сложна, неудобна в работе (особенно при заполнении пресс-формы порошком), а подобное размещение стержня практически не применимо для автоматизации процесса (за исключением конструкций пресс-форм с замещающимися стержнями, о которых будет сказано ниже).

Для того чтобы избежать указанных недостатков, подвижный стержень может быть установлен на пружинах в нижнем пуансоне (рис. 25), причем перемещение его в процессе прессования может осуществляться как за счет сил трения частиц шихты о формующую поверхность стержня (рис. 25,*а*), так и за счет усилия, передаваемого верхним пуансоном (рис. 25,*б*).

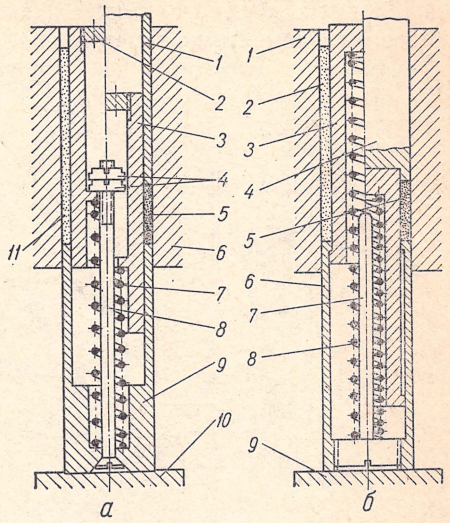


Рис. 25. Схемы работы подвижных стержней:

а — «плавающий» с перемещением при прессовании за счет сил трения частиц порошка о формующую поверхность, *1* — верхний пуансон, *2* — пробка, *3* — стержень, *4* — регулировочные гайки, *5* — спрессованное изделие, *6* — матрица, *7* — пружина подвески, *8* — шток, *9* — нижний неподвижный пуансон, *10* — нижняя плита пресс-формы (пресса), *11* — порошок; *б* — подвижный с принудительным перемещением при прессовании с передачей усилия от верхнего пуансона, *1* — матрица, *2* — порошок, *3* — стержень, *4* — верхний пуансон, *5* — спрессованное изделие, *6* — нижний неподвижный пуансон, *7* — шток, *8* — пружина подвески, *9* — нижняя плита пресс-формы (пресса).

Применение таких плавающих стержней можно осуществить только при прессовании втулок с достаточно большим диаметром отверстия, при котором создается возможность размещения внутри пуансона и стержня или только пуансона, пружины подвески и других вспомогательных деталей. Поэтому целесообразней конструкция пресс-формы, в которой вместе с верхним пуансоном перемещается матрица [22].

Схемы таких пресс-форм представлены на рис. 26. Перемещение плавающей матрицы может происходить как под действием

сил трения прессуемого порошка (рис. 26, *а*), так и принудительно с передачей усилия от верхнего плунжера пресса через верхний пуансон (рис. 26, *б*) или от нижнего привода (рис. 26, *в*).

Применение плавающей матрицы в пресс-форме с объемной дозировкой, когда формующая полость пресс-формы служит дозирующим элементом, значительно облегчает регулировку высоты

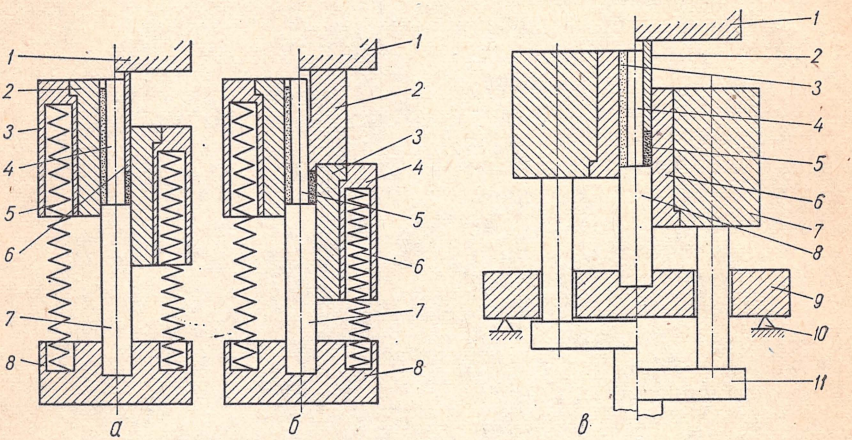


Рис. 26. Схема подвесок подвижных матриц:

а — «плавающая» с перемещением при прессовании силой трения частиц порошка, действующих на стенки матрицы, *1* — верхняя плита пресс-формы (пресса), *2* — матрица, *3* — стол матрицы, *4* — стержень, *5* — пружина подвески, *6* — верхний пуансон, *7* — нижний пуансон, *8* — основание пресс-формы; *б* — подвижная с принудительным перемещением при прессовании передачей усилия от верхнего пуансона, *1* — верхняя плита пресс-формы, *2* — верхний пуансон, *3* — матрица, *4* — стол матрицы, *5* — стержень, *6* — пружина подвески, *7* — нижний пуансон, *8* — основание пресс-формы; *в* — подвижная с принудительным перемещением при прессовании передачей усилия от нижнего привода пресса, *1* — верхняя плита пресс-формы, *2* — верхний пуансон, *3* — порошок, *4* — стержень, *5* — спрессованное изделие, *6* — матрица, *7* — стол матрицы, *8* — нижний пуансон, *9* — промежуточная плита, *10* — упор, *11* — траверса со штангами.

засыпаемого слоя порошка, которая осуществляется опусканием или поднятием матрицы относительно нижнего пуансона.

Однако при прессовании крупногабаритных изделий матрица и плита питателя очень тяжелые, и регулировать засыпаемый слой порошка их перемещением неудобно.

Конструкции с перемещающимся столом пресс-формы неудобны и при двухстороннем прессовании крупногабаритных деталей (приходится осуществлять подвеску стола матрицы с питателем и приводом питателя). При больших усилиях прессования не рекомендуется применять упоры, регулируемые при помощи резьбы.

Для прессования крупногабаритных изделий Институтом проблем материаловедения АН УССР разработана конструкция с подпружиниванием нижней траверсы пресс-формы (рис. 27). При заполнении матрицы *16* порошком ее зеркало в любом случае находится на уровне поверхности неподвижного стола корпуса *19* пресс-формы, а при прессовании она садится на упоры корпуса или оста-

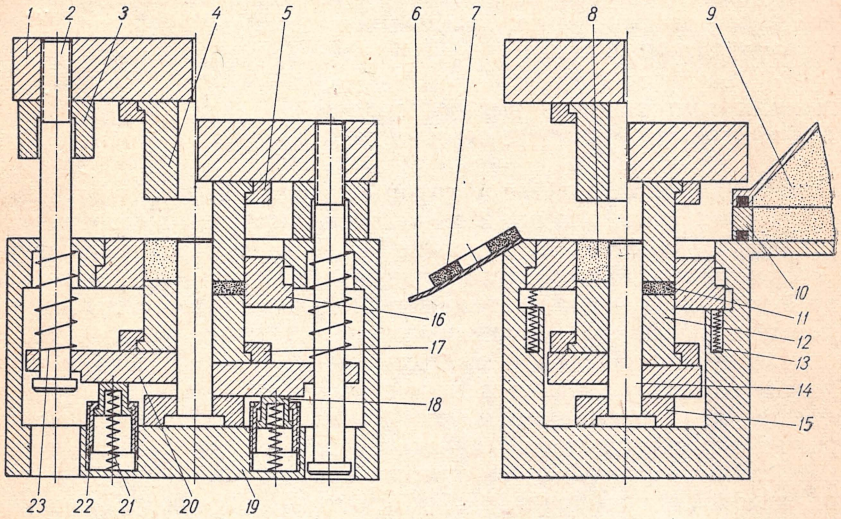


Рис. 27. Схема пресс-формы с подпружиниванием нижней траверсы:

1 — верхняя плита; *2* — штанга; *3* — упор; *4* — верхний пуансон; *5* — накладка верхнего пуансона; *6* — лоток; *7* — изделие после выпрессовки; *8* — засыпанный в матрицу порошок; *9* — бункер с порошком; *10* — кассета-питатель; *11* — спрессованное изделие в матрице; *12* — нижний пуансон; *13* — пружина подвески матрицы; *14* — стержень; *15* — упор траверсы; *16* — матрица; *17* — накладка нижнего пуансона; *18* — подпружиненный стакан; *19* — корпус пресс-формы; *20* — траверса; *21* — пружина подвески траверсы; *22* — регулировочная гайка; *23* — пружина отвода траверсы после выталкивания.

навливается, не доходя до них (в зависимости от условий прессования). Траверса *20* с нижним пуансоном *12* при заполнении опирается на подпружиненные стаканы *18*. Выход стаканов регулируется специальными гайками *22*, которые несут нагрузку подпорных пружин *21*. При прессовании траверса, сжимая подпорные пружины, садится на нерегулируемый постоянный упор *15*. Учитывая, что движение верхнего пуансона также ограничено в крайнем нижнем положении упором *3*, упирающимся на стол матрицы (или установленным на матрице и упирающимся в верхнюю траверсу

пресс-формы), окончательные размеры изделия по высоте обеспечиваются с достаточной точностью.

При неподвижном столе пресс-формы резко уменьшается вес движущихся подпружиненных частей, значительно упрощается соединение бункера с камерой кассеты-питателя, конструкция привода кассеты-питателя.

В стационарных пресс-формах для установки матрицы и стержней вместо пружин могут применяться также гидравлические или пневматические цилиндры.

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ IV И V ГРУПП СЛОЖНОСТИ

Прессование изделий IV и V групп сложности вызывает затруднение в связи с тем, что эти изделия имеют переходы по своему вертикальному сечению. Если детали I—III групп ограничены двумя параллельными плоскостями и двумя боковыми поверхностями, то в данном случае через тело детали можно провести три параллельных плоскости, ограничивающие отдельные участки ее, и определить три боковых ее поверхности*. К таким изделиям относятся, например, втулки с наружными и внутренними буртами и изделия, подобные этим втулкам, имеющие сложную конфигурацию в плане (шестерни, кулачки и т. д.).

Особое затруднение при прессовании изделий IV и V групп сложности заключается в том, что необходимо получить равномерное распределение плотности как по всей высоте изделия, так и в ее выступающих частях. В связи с этим необходимо применять либо составные пуансоны с независимо перемещающимися элементами (рис. 28, *а*), либо производить формование выступающих элементов детали в матрице (рис. 28, *б*).

Основным условием получения равномерной плотности во всех сечениях изделия является то, что слой порошка в полости пресс-формы должен быть пропорционален высоте изделия в данном сечении:

$$\frac{H}{h} = \frac{H_1}{h_1} = \frac{\gamma_п}{\gamma_н} = k, \qquad (7)$$

где H и H_1 — высота слоя порошка в пресс-форме в соответствующих сечениях;

h и h_1 — высота изделия в этих же сечениях;

---

* Для изделий с одним отверстием.

$\gamma_п$ — плотность спрессованного изделия;
$\gamma_н$ — насыпной вес шихты;
k — коэффициент пропорциональности (коэффициент обжатия).

Поэтому для получения равномерной пористости в бурте и теле втулки необходимо обеспечить соответственно разную высоту слоя порошка в пресс-форме.

Кроме того, порошки, применяемые в металлокерамическом производстве, при одинаковом составе могут иметь различный насыпной вес, колеблющийся в достаточно больших пределах. Это приводит к необходимости вводить в конструкцию пресс-форм регулирующие элементы и устройства, позволяющие изменять высоту засыпки различных сечений детали при изменении насыпного веса.

Расчет требуемой высоты регулировки $h_р$ слоя засыпанного порошка производится по следующей формуле:

$$h_р = (k_{макс} - k_{мин})\,h, \qquad (8)$$

где $k_{макс}$ — максимальная величина коэффициента пропорциональности при минимальном значении насыпного веса;
$k_{мин}$ — минимальная величина коэффициента пропорциональности при максимальном значении насыпного веса прессуемого порошка.

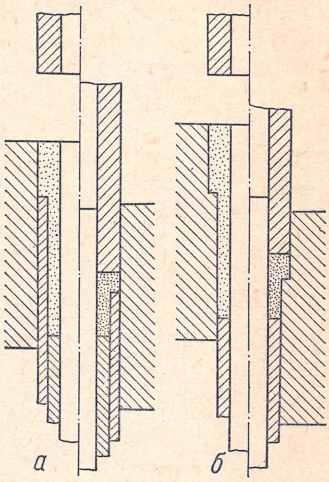


Рис. 28. Схема прессования детали типа втулки с буртом:
а — с формованием выступающих частей при помощи специального нижнего пуансона; *б* — с формованием выступающих частей в матрице.

В съемных пресс-формах с весовой дозировкой для детали с наружными выступами регулировку можно осуществлять с помощью съемных регулируемых подставок [19]. Схема работы регулируемой подставки изображена на рис. 29. При опускании или поднятии матрицы регулируется положение нижней плоскости выступов относительно неподвижного нижнего пуансона. С изменением насыпного веса порошка соотношение слоя засыпки выступающей части H_1 и слоя засыпки основного тела детали H остается постоянным:

$$\frac{H_1}{H} = \frac{H_1'}{H'} = \frac{h_1}{h} = \text{const}.$$

В стационарных пресс-формах такая регулировка может осуществляться пружинами (а также гидро- или пневмоцилиндрами).

При постоянном крайнем верхнем положении матрицы в стационарных пресс-формах с объемной дозировкой, производимой непосредственно в полости матрицы для прессования деталей типа втулки с нешироким толстым буртом, регулировка может осуществляться так, как показано в пресс-форме, изображенной на рис. 30. Матрица состоит из двух частей *1* и *2*, соединенных между собой резьбовым соединением, при помощи которого производится регулировка высоты H_1. Регулировка высоты H_2 производится перемещением нижнего пуансона *10* с помощью регулируемого упора *11*. При этом с помощью упора *7* производится также регулирование хода матрицы и остановки ее в определенном положении относительно нижнего пуансона в конце процесса прессования. Сама матрица подвешена на пружине *8* для осуществления двухстороннего прессования тела втулки. Стержень *6* и нижний пуансон *10* в процессе прессования неподвижны. Выталкивание производится нижним пуансоном.

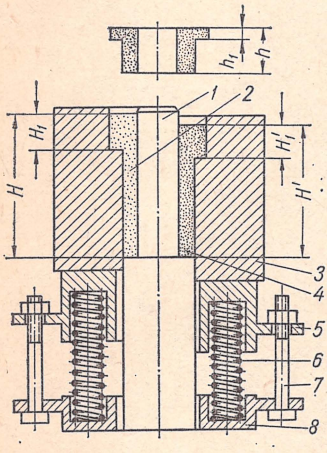


Рис. 29. Схема работы регулируемой подставки:

1 — стержень; *2* — порошок с меньшим насыпным весом; *3* — матрица; *4* — порошок с большим насыпным весом; *5* — подпружиненная подвижная часть подставки; *6* — пружина; *7* — натяжное устройство; *8* — основание подставки.

При прессовании деталей типа втулки с внутренним буртом применяются регулировочные устройства, расположенные непосредственно внутри составных пуансонов, имеющих независимо перемещающиеся друг от друга элементы (рис. 31).

На рис. 31, *а* изображена схема такого пуансона с регулировкой, производимой при помощи гаек *9*, позволяющих перед заполнением поднимать или опускать подвижную часть пуансона *4*. При прессовании эта часть пуансона садится до упора в гнездо нижнего пуансона *8*, регламентируя тем самым глубину внутреннего отверстия втулки. Недостатком этой конструкции является необходимость в увеличении общей длины неподвижной части пуансона для обеспечения выхода штока *6*. Этот недостаток можно устранить, если при прессовании пресс-форму устанавливать на подштампо-

вую плиту с отверстием для выхода штока *6* (в том случае, если увеличение длины пуансона нежелательно).

На рис. 31, *б* изображена схема аналогичной конструкции пуансона. Регулировка исходного положения подвижной части пуансона *4* производится резьбовым соединением штока *7* и неподвижной части пуансона *9* (гайка *10* является стопорной). Эта схема допускает применение более короткого нижнего пуансона, но она несколько сложней в изготовлении.

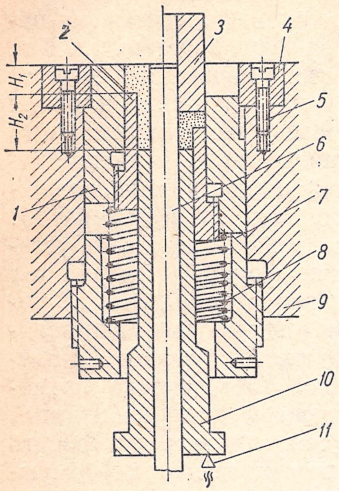


Рис. 30. Регулировка слоев засыпки порошка в стационарной пресс-форме:

1 — матрица; *2* — элемент матрицы для формования выступающих частей; *3* — верхний пуансон; *4* — накладка-ограничитель; *5* — винты крепления накладки; *6* — стержень; *7* — упор; *8* — пружина; *9* — стол пресс-формы; *10* — нижний пуансон-выталкиватель; *11* — регулируемый упор.

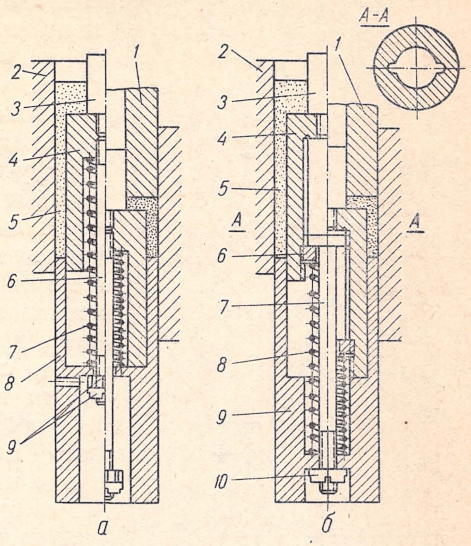


Рис. 31. Схема работы пуансонов с независимо перемещающимися элементами и подвижным стержнем для прессования изделий типа втулки с внутренним буртом:

а — с выходом штока в полость неподвижного элемента пуансона, *1* — верхний пуансон, *2* — матрица, *3* — стержень, *4* — подвижный элемент пуансона, *5* — порошок, *6* — шток, *7* — пружина, *8* — неподвижный элемент пуансона, *9* — регулировочные гайки; *б* — с выходом штока в полость подвижного элемента пуансона, *1* — верхний пуансон, *2* — матрица, *3* — стержень, *4* — подвижный элемент пуансона, *5* — порошок, *6* — ограничительная гайка, *7* — шток, *8* — пружина, *9* — неподвижный элемент пуансона, *10* — установочная гайка.

Оба этих варианта конструкции пуансонов могут быть применены при формовании глухих отверстий, для чего конструкция выполняется без стержня *3*.

Такие схемы составных пуансонов могут применяться как для съемных, так и для стационарных неавтоматических пресс-форм, хотя для последних они несколько неудобны из-за способа регулировки. Примером составного пуансона для прессования втулки с внутренним буртом в стационарной пресс-форме может служить составной пуансон, изображенный на рис. 32. Как стержень *3*, так и подвижный элемент пуансона, формующий внутренний бурт, установлены на пружинах *7* и *11* и имеют независимое перемещение относительно друг друга и неподвижного элемента нижнего пуансона *13*. Внутри неподвижного пуансона устанавливается не несущий нагрузки при прессовании вкладыш *10*, гайки *9* которого служат для регулировки положения подвижного пуансона. Изменяя положение гаек, можно поднимать и опускать подпружиненный пуансон и тем самым регулировать его высоту по отношению к формующей плоскости нижнего неподвижного пуансона *13*, обеспечивая величину H_1. Затем производится установка стержня и матрицы с обеспечением высоты H, учитывая соотношение

$$\frac{H}{H_1} = \frac{h}{h_1} = \text{const}.$$

Недостатком этой конструкции является то, что для регулировки положения подвижного пуансона приходится снимать стержень, хотя это и осуществляется просто: отвинчивается пробка *2* и разъединяются детали *6* и *12*, причем гайка *12* предохраняется от поворота двумя выступами, входящими в вертикальные канавки вкладыша *10*, а от выпадания втулкой *15*.

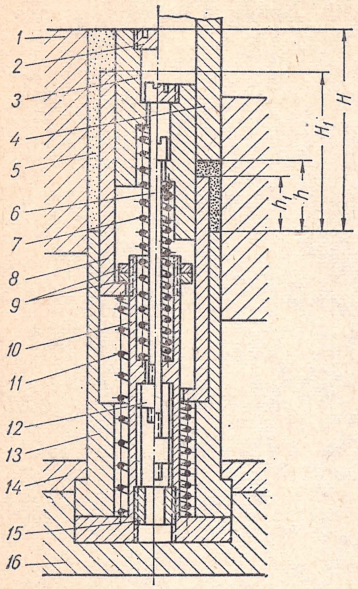


Рис. 32. Схема работы пуансона с независимым перемещением стержня и подвижного элемента пуансона в стационарной пресс-форме для прессования изделия типа втулки с внутренним буртом:

1 — матрица; *2* — пробка; *3* — стержень; *4* — верхний пуансон; *5* — порошок; *6* — шток; *7* — пружина стержня; *8* — подвижный элемент нижнего пуансона; *9* — гайки, регулирующие положение подвижного элемента пуансона; *10* — вкладыш; *11* — пружина пуансона; *12* — гайка, регулирующая положение стержня; *13* — неподвижный элемент нижнего пуансона; *14* — накладка; *15* — ограничительная гайка; *16* — нижняя плита пресс-формы.

В пресс-формах большой производительности можно упростить процесс регулировки, несколько усложнив конструкцию. Для

этого вкладыш *10* делается вращающимся (с винтовой нарезкой и приводом, выведенным на основание пресс-формы). То же делается и для гайки *12* (или штока *6*).

Система независимой установки стержня и подвижного пуансона позволяет прессовать детали как IV, так и V групп сложности. Иногда для получения изделий с равномерной плотностью, кроме обычных приёмов, следует применить также индивидуальные приемы, зависящие от схемы прессования изделий, аналогичных по своей конфигурации.

Ниже рассмотрены две примерные схемы прессования изделия типа втулки с буртом.

В работе [43] описано прессование изделия на автоматическом специализированном прессе (рис. 33). В данной конструкции стержень установлен на одной плите с матрицей, и они перемещаются одновременно. Автор считает, что порошок уплотняется в первую очередь над пуансоном *2* и перетекает частично в зону над пуансоном *4*, так как в этой зоне уплотнение наступает несколько позднее (рис. 34, *б* и *в*). Однако перепрессовку тела втулки можно объяснить следующим образом. При создании давления над пуансоном *2* матрица либо под действием сил трения частиц порошка, либо под действием привода пресса перемещается вниз. Вместе с матрицей перемещается вниз стержень. Силы трения, возникающие между частицами порошка и стержнем, увлекают эти частицы в емкость, образованную пуансоном *2*, стержнем *5* и пуансоном *4*. В результате перетекания порошка из объема над пуансоном *2* в объем над пуансоном *4* в последнем создается большее уплотнение. Для равномерного распределения плотности следует корректировать объемы порошка при заполнении. Корректировка может быть произведена при прессовании первых деталей с помощью регулирующих устройств пресс-формы. При неправильном определении объемов заполнения над каждым из пуансонов может создаться такое положение, когда над пуансоном *4* плотность достигнет максимально

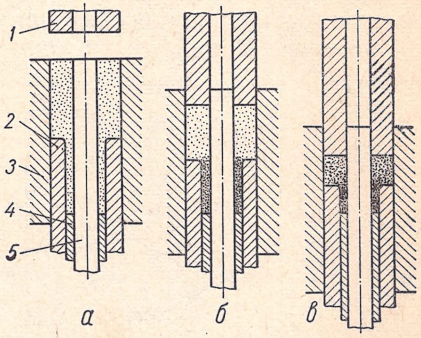


Рис. 33. Схема уплотнения порошка при прессовании изделия типа втулки с буртом в пресс-форме с одновременным перемещением стержня и матрицы: *а* — заполнение порошком; *б* — начало прессования; *в* — окончание прессования; *1* — верхний пуансон; *2* — нижний подвижный пуансон; *3* — матрица; *4* — нижний неподвижный пуансон; *5* — стержень.

возможного значения, тогда как над пуансоном *2* порошок будет недопрессован.

При прессовании аналогичной детали в пресс-форме с неподвижным нижним пуансоном *2* (рис. 34) и стержнем *3* (матрица *4* и пуансон *1* плавающие) можно наблюдать обратную картину. На первом этапе процесса прессования как матрица *4*, так и пуансон *1*, почти не изменяя положения относительно друг друга, перемещаются относительно неподвижного пуансона *2* до остановки пуансона *1* в нижнем крайнем положении. Только после этого начинается окончательное уплотнение бурта.

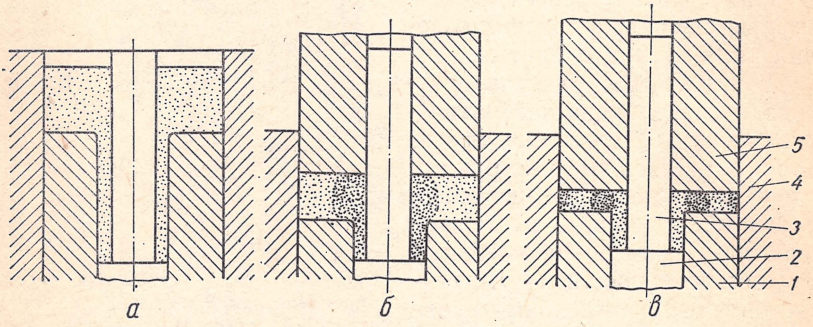


Рис. 34. Схема уплотнения порошка при прессовании изделия типа втул и с буртом в пресс-форме с неподвижным стержнем:
а — заполнение порошком; *б* — начало прессования; *в* — окончание прессования.

При прессовании этой детали перераспределение порошка происходит следующим образом. Так как площадь бурта изделия в данном случае в шесть раз больше площади хвостовика, то распределение усилия, необходимого для прессования, должно автоматически соответствовать соотношению этих площадей. Но усилие пружин пуансона *1* незначительно, и при приложении усилия, достаточного для прессования хвостовика, пуансон *1* опускается в крайнее нижнее положение при незначительном уплотнении порошка, предназначенного для прессования бурта. При этом порошок хвостовика уплотняется меньше заданной величины, так как он частично выдавливается в полость бурта.

Впоследствии, на заключительном этапе прессования, этот порошок в обратном направлении не перемещается, а уплотняется пуансонами *1* и *5*, создавая участки с повышенной плотностью, расположенные вокруг кромки внутренней полости пуансона *1*.

Это подтверждается распределением плотности по объему детали [21].

Более рациональная конструкция рабочих элементов пресс-форм для прессования таких изделий изображена на рис. 35. Прессование производится при неподвижном пуансоне *7* с приложением усилий к пуансонам *1* и *8*, пропорциональных площади проекций элементов прессуемой детали. В этом случае деталь уплотняется равномерно, практически без «перетекания» порошка между полостями, расположенными над пуансонами *7* и *8*.

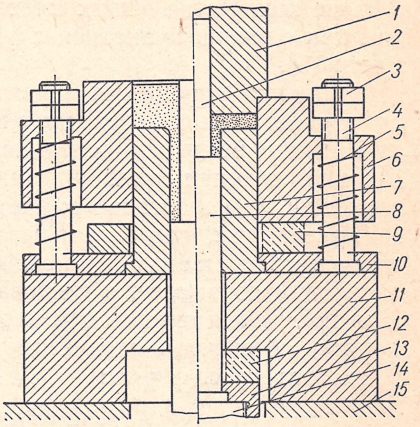


Рис. 35. Схема рациональной конструкции рабочих элементов пресс-формы для прессования изделия типа втулки с буртом:

1 — верхний пуансон; *2* — стержень; *3* — регулировочная гайка, *4* — стойка; *5* — пружина; *6* — корпус матрицы; *7* — нижний неподвижный пуансон; *8* — нижний подвижный пуансон; *9*, *12* — убираемые упоры; *10*, *13* — накладки; *11* — основание; *14* — выталкиватель; *15* — плита пресс-формы.

В пресс-форме, сконструированной по схеме, приведенной на рис. 34 и работающей на неавтоматическом режиме, можно также получить равномерную плотность, применив ступенчатый цикл прессования. Для этого следует произвести предварительную подпрессовку бурта при установленном на упоры пуансоне *1*. Затем, убрав упоры, произвести окончательное прессование как хвостовика, так и тела бурта. Предварительно уплотненный порошок бурта перекрывает при этом полость над пуансоном *2*, не допуская выталкивания из нее порошка. Не рекомендуется на первой стадии прессования производить полное уплотнение бурта, так как при этом получается расслоение в месте перехода хвостовик — бурт.

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ VI И VII ГРУПП СЛОЖНОСТИ

Конструирование пресс-форм для изделий VI группы сложности основывается на применении различных комбинаций устройств, описанных в двух предыдущих разделах, но, поскольку эти изделия имеют большее количество переходов по высоте, конструкция

пресс-форм для их прессования получается значительно сложнее. В пресс-формах для прессования изделий VI (а также VII) группы сложности приходится применять составные верхние и нижние пуансоны, причем зачастую такие пуансоны могут иметь по три и более независимо перемещающихся формующих элемента. Количество независимо перемещающихся элементов обычно на единицу больше количества общих плоскостей переходов по высоте детали, так как один из пуансонов служит для формования базовой плоскости [6].

В целях упрощения конструкции пресс-формы в некоторых случаях для таких переходов с небольшим изменением высоты изделия можно не делать отдельного составного пуансона. При этом в данном сечении будет получена несколько иная плотность (пористость), чем в остальных частях детали.

Рассмотрим, при каком различии в высотах изделий можно не применять составные пуансоны. Пусть имеется изделие с одним переходом по высоте, а следовательно, с двумя высотами h_1 и h_2. Для получения одинаковой плотности в обеих частях детали необходимо обеспечить следующие исходные слои засыпки порошка в полости пресс-формы:

$$H_1 = \frac{\gamma_п}{\gamma_н} h_1 \text{ и } H_2 = \frac{\gamma_п}{\gamma_н} h_2,$$

где $\gamma_п$ — плотность спрессованного изделия;

$\gamma_н$ — насыпной вес шихты.

Применяя неразъемный пуансон, выбираем среднюю высоту слоя порошка в полости пресс-формы для каждого участка из следующих соотношений:

$$H_{ср_1} = \frac{H_1 + H_2}{2} - \frac{h_1 - h_2}{2},$$

$$H_{ср_2} = \frac{H_1 + H_2}{2} + \frac{h_1 - h_2}{2}.$$

Коэффициент обжатия порошка в каждом сечении составит

$$k_1 = \frac{H_{ср_1}}{h_1} = \frac{\gamma_{п_1}}{\gamma_н},$$

$$k_2 = \frac{H_{ср_2}}{h_2} = \frac{\gamma_{п_2}}{\gamma_н}.$$

Пористость в отдельных сечениях детали

$$П = 100 \left(1 - \frac{\gamma_п}{\gamma_к}\right), \qquad (9)$$

а так как $\gamma_п = \gamma_н k$, то формула (9) примет вид

$$П = 100\left(1 - \frac{k\gamma_н}{\gamma_к}\right), \qquad (10)$$

где $\gamma_к$ — удельный вес компактного металла.

Следовательно,

$$П_2 - П_1 = 100\frac{\gamma_н}{\gamma_к}(k_1 - k_2). \qquad (11)$$

Из формулы видно, что при разных коэффициентах обжатия различие в пористости зависит от насыпного веса порошка и удельного веса компактного металла.

Допустимая величина $П_2 - П_1$ зависит от общей пористости детали и практически должна выбираться так, чтобы физико-механические свойства отдельных частей изделия незначительно отличались друг от друга и были в местах самой большой пористости выше минимально допустимых величин.

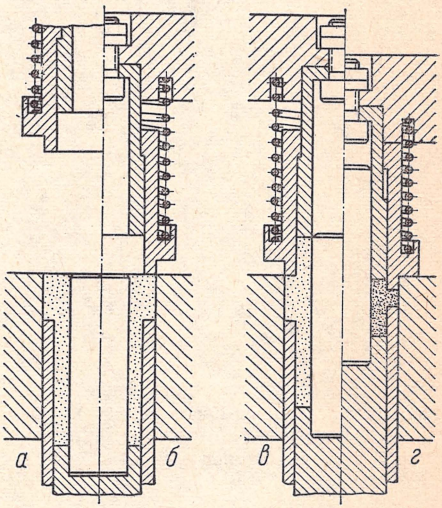


Рис. 36. Схема расположения формующих элементов пресс-формы с предварительным перемещением порошка в полость верхнего пуансона при прессовании изделий типа втулки с буртом посредине.

Особую трудность представляет прессование изделий VII группы сложности. Самыми простыми изделиями из этой группы являются изделия типа втулок с буртом посредине. При прессовании таких изделий на автоматических пресс-формах с объемной дозировкой полость матрицы, как правило, является дозатором, что требует некоторых специальных способов для соблюдения соответствия высот слоя засыпки для тела изделия и его выступающих частей.

Рассмотрим два характерных устройства для обеспечения этого соотношения.

В обоих случаях слой порошка, необходимый для прессования тела втулки, размещается в формующей полости, образованной

нижним пуансоном (нижними пуансонами) и матрицей, так как это имеет место при прессовании изделия типа втулки с буртом (т. е. изделия IV и V групп сложности).

Затем для образования верхней части изделия часть порошка должна перемещаться из матрицы в полость, образованную деталями верхнего составного пуансона. Этот процесс может осуществляться двумя методами:

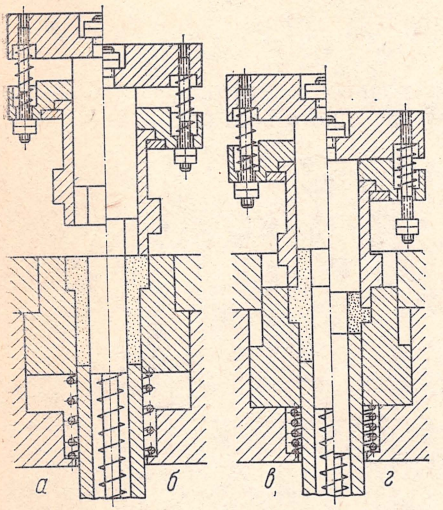


Рис. 37. Схема расположения формующих элементов пресс-формы, имеющей замещающиеся стержни, для прессования изделия типа втулки с буртом посредине.

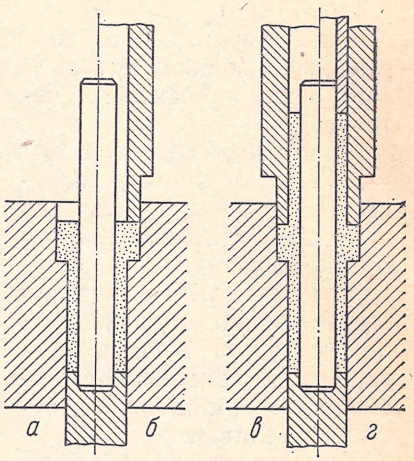


Рис. 38. Схема двойного заполнения порошком пресс-формы для прессования изделия типа втулки с буртом посредине:

а — заполнение пресс-формы частью порошка, идущей на формование нижней части изделия и его выступающих частей; *б* — установка верхнего пуансона, формующего бурт; *в* — заполнение пресс-формы оставшейся частью порошка; *г* — установка второго пуансона.

1) верхний пуансон (рис. 36,*а*) подпружиненной частью вплотную подходит к зеркалу матрицы (рис. 36,*б*) и образует общую полость, а нижний пуансон быстрым движением вверх перемещает часть порошка, необходимую для прессования верхней части детали, в полость верхнего пуансона (рис. 36,*в*), после чего начинается прессование (рис. 36,*г*), при котором нижняя часть прессуется так же, как изделия IV и V группы сложности, а верхняя часть формуется в полости, образованной составным пуансоном;

2) верхний пуансон (рис. 37,*а*) также образует с матрицей общую полость (рис. 37,*б*), затем синхронно с матрицей опускается

вниз относительно неподвижного нижнего пуансона (рис. 37, *в*), после чего начинается процесс прессования (рис. 37, *г*).

Различие этих двух методов заключается в том, что в первом случае при перемещении вверх нижнего пуансона перемещается вверх стержень, установленный на этом пуансоне, и таким образом верхний торец стержня не опускается ниже уровня засыпки порошка. Во втором случае пресс-форма имеет два стержня, один из них (нижний) плавающий и служит только для правильного заполнения матрицы порошком, второй, рабочий стержень укреплен в верхнем пуансоне и служит для оформления изделия. При прессовании верхний стержень своим торцом вплотную соприкасается с нижним и вытесняет последний вниз из зоны формующей полости (принцип замещающихся стержней).

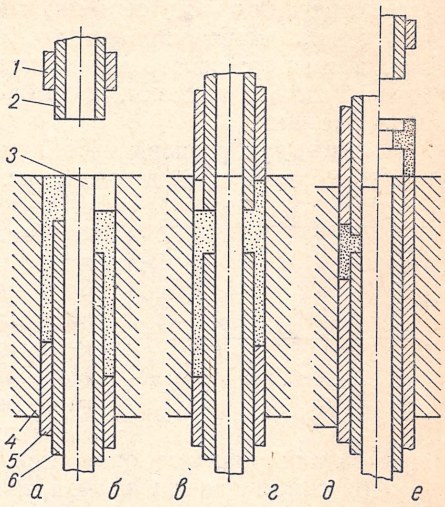


Рис. 39. Схема прессования втулки с внутренним буртом посредине в стационарной пресс-форме:

а — заполнение полости порошком; *б* — отход вниз нижних пуансонов; *в* — перемещение вниз верхних пуансонов; *г* — перемещение порошка в полость, образованную верхними пуансонами и матрицей; *д* — прессование; *е* — выталкивание; *1* — верхний наружный пуансон; *2* — верхний внутренний пуансон; *3* — стержень; *4* — матрица; *5* — нижний наружный пуансон; *6* — нижний внутренний пуансон.

При изготовлении небольших опытных партий изделий в съемных пресс-формах для упрощения конструкции может быть применено двойное заполнение формующей полости порошком по схеме, приведенной на рис. 38.

Для прессования изделия типа втулки с внутренним буртом посредине следует применять схему, приведенную на рис. 39. Заполнение производится с помощью кассеты питателя (на рис. не показана). После отхода кассеты питателя движением нижних пуансонов *5* и *6* порошок перемещается вниз на высоту, достаточную для захода в матрицу верхнего пуансона *1* при условии, что верхний пуансон *2* подходит вплотную к уровню засыпки порошка. Нижним пуансоном *5* часть порошка, необходимая для прессования верхней части детали, перемещается в полость, образованную верхними пуансонами *1* и *2* и матрицей *4*, после чего начинается

процесс прессования. При выталкивании верхние пуансоны отходят вверх, а изделие выталкивается нижними пуансонами.

Особое место среди изделий VII группы сложности занимают изделия, имеющие кольцевой паз (рис. 40).

Несмотря на кажущуюся простоту изделия при прессовании его встречается ряд серьезных затруднений. Возникают затруднения при конструировании пуансона, формующего кольцевой паз, а именно: способ крепления пуансона и извлечения его из спрессованного изделия, а также способ регулирования высоты слоя засыпки.

Схемы двух разновидностей таких съемных пресс-форм с весовой дозировкой приведены на рис. 41. В первой из них (рис. 41, *а*) стержень *3* неподвижный и является комбинацией стержня и внутреннего пуансона. На нем имеется гайка (на рис. не показана), регулирующая положение среднего пуансона *6*, служащего для формования кольцевого паза. Наружный нижний пуансон *7* имеет прорези, в которые входят выступы подвижного пуансона *6* и траверсы *10*. При прессовании траверса опирается на съемные клинья *11*.

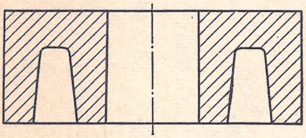


Рис. 40. Изделие с кольцевым пазом.

При выталкивании клинья убираются и матрица *4*, сталкиваемая с детали, упираясь в выступы пуансона *6*, извлекает его из кольцевого паза.

Во второй схеме (рис. 41, *б*) стержень *4* подвижный и имеет выступы, входящие в пазы внутреннего неподвижного пуансона *10*. В эти же пазы входят выступы пуансона *7*, формующего кольцевой паз. Наружный неподвижный пуансон *8* также имеет пазы для клиньев *15*, играющих такую же роль, как и в пресс-форме, приведенной на рис. 41, *а*. Регулировка положения среднего пуансона производится с помощью гайки, установленной на штоке стержня (на рис. не показана).

Выталкивание пуансона *7* производится с помощью стержня *4*, выступы которого опираются на выступы пуансона *7*.

Безусловно, обе схемы могут применяться только в том случае, когда нижние неподвижные пуансоны имеют достаточную прочность (с учетом ослабления их вертикальными пазами).

С целью упрощения конструкции пресс-формы, если не предъявляются особые требования к чистоте поверхности кольцевого паза, применяются конструкции пресс-форм с разрезными пуансонами, приведенными на рис. 42 и 43.

На рис. 42 представлена схема пресс-формы для прессования изделий с кольцевым пазом, имеющих небольшую высоту и допускающих одностороннее прессование с применением плавающего пуансона *6*, перемещающегося относительно неподвижных матрицы *8* и стержня *1*.

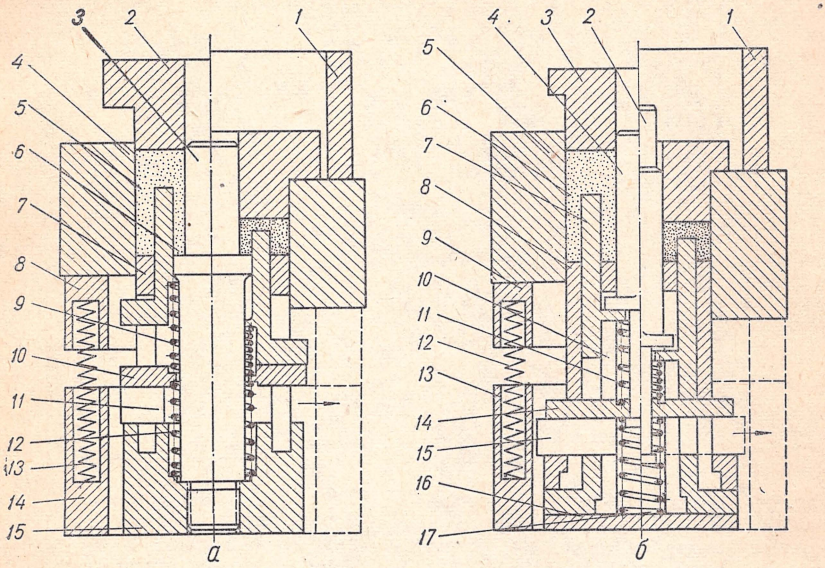


Рис. 41. Схемы съемных пресс-форм для прессования изделий с кольцевым пазом:

а — схема с неподвижным стержнем и извлечением пуансона кольцевого паза передачей усилия через матрицу, *1* — надставка, *2* — верхний пуансон, *3* — стержень (в комбинации с внутренним нижним пуансоном), *4* — матрица, *5* — порошок, *6* — пуансон, формующий кольцевой паз, *7* — наружный нижний пуансон, *8* — подвижный элемент подставки, *9* — пружина, *10* — траверса, *11* — клинья упора пуансона кольцевого паза, *12* — пружина траверсы, *13* — пружина подставки, *14* — основание подставки, *15* — основание пресс-формы; *б* — схема с подвижным стержнем и извлечением пуансона кольцевого паза передачей усилий через стержень, *1*, *2* — надставки, *3* — верхний пуансон, *4* — стержень, *5* — матрица, *6* — порошок, *7* — пуансон, формующий кольцевой паз, *8* — наружный нижний пуансон, *9* — подвижный элемент подставки, *10* — внутренний нижний пуансон, *11* — пружина, *12* — пружина подставки, *13* — основание подставки, *14* — траверса, *15* — клинья упора пуансона, *16* — основание пресс-формы, *17* — пружина траверсы.

Подвижный пуансон *6*, устанавливаемый на подвижном регулируемом кольце *5*, и конусная матрица *8* имеют по вертикали разъемы, позволяющие производить извлечение детали из пресс-формы.

На рис. 43 показана пресс-форма для прессования высоких изделий. Пуансон *18*, формующий кольцевой паз, и нижний наруж-

ный пуансон *15* также имеют плоскости разъема. Матрица *9* сплошная. Подвижный пуансон *18* устанавливается на регулируемом кольце *19*.

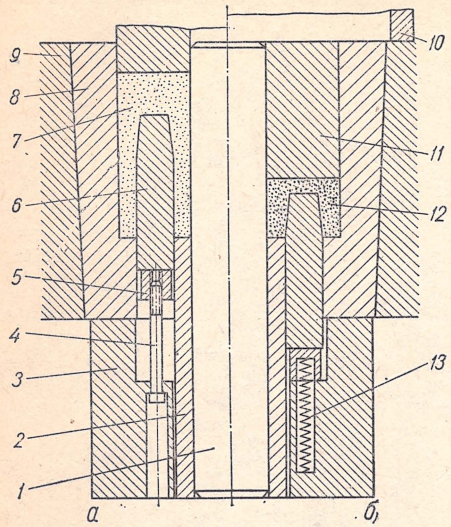


Рис. 42. Схема съемной пресс-формы с разрезной разъемной матрицей и подвижным разъемным пуансоном, формующим кольцевой паз:

а — положение после заполнения порошком; *б* — положение перед разборкой пресс-формы; *1* — стержень; *2* — неподвижный пуансон (может быть изготовлен совместно со стержнем); *3* — корпус подставки; *4* — регулировочный винт; *5* — подпружиненное упорное кольцо подставки; *6* — пуансон, формующий паз; *7* — порошок; *8* — клиновая разъемная матрица; *9* — обойма; *10* — надставка для сталкивания обоймы; *11* — верхний пуансон; *12* — спрессованное изделие; *13* — пружина подставки.

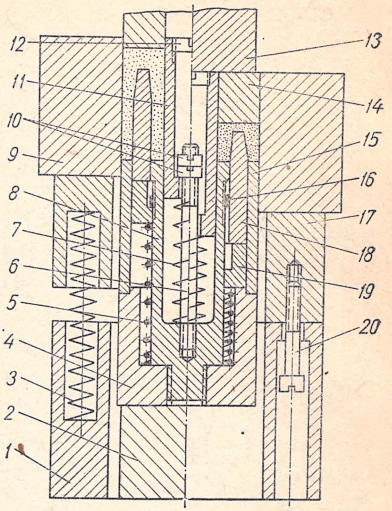


Рис. 43. Схема съемной пресс-формы с разъемными наружным нижним пуансоном и пуансоном, формующим кольцевой паз:

1 — основание подставки; *2* — основание пресс-формы; *3* — пружина регулируемой подставки; *4* — корпус неподвижного пуансона; *5* — пружина пуансона кольцевого паза; *6* — шток; *7* — пружина стержня; *8* — неподвижный нижний внутренний пуансон; *9* — матрица; *10* — регулировочные гайки; *11* — стержень; *12* — пробка; *13* — надставка; *14* — верхний пуансон; *15* — разрезной пуансон; *16* — регулировочные гайки; *17* — подвижная деталь подставки; *18* — пуансон кольцевого паза; *19* — кольцо; *20* — регулировочный винт подставки.

При конструировании пресс-форм для изделий с кольцевым пазом следует также учитывать, что боковое давление прессуемого порошка прилагается с обеих сторон к пуансону, формующему кольцевой паз. При большой глубине паза может создаться избыточная сила трения, которая не даст возможности пуансону стать на место в конце процесса прессования. Тело детали над пуансоном будет

при этом перепрессовано и размеры детали не выдержаны. Для устранения такого явления, а также для облегчения выталкивания пуансона из сформованного кольцевого паза рекомендуется окончательную форму паза делать с обеих сторон конусообразной с углом наклона образующей до 5—10°.

Наиболее сложными для прессования являются изделия VII группы сложности, имеющие наклонные плоскости и сферические или горизонтальные цилиндрические поверхности. Примером такого изделия может служить полусферический контакт *14* (рис. 44). При конструировании пресс-формы для изделий такого типа рекомендуется использовать принцип скользящего кольца, позволяющий обеспечить равномерную плотность во всех частях прессуемого изделия.

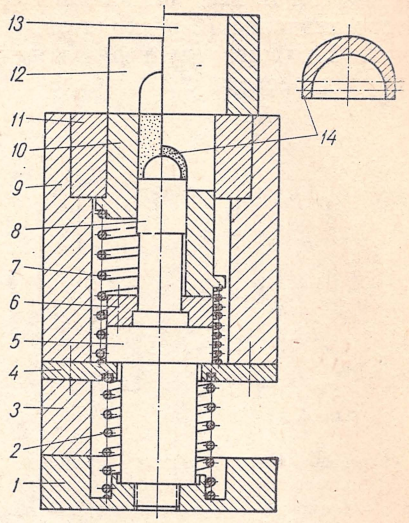


Рис. 44. Съемная пресс-форма с подвижным кольцом для прессования полусферического контакта:

1 — основание подставки; *2* — пружина; *3* — подставка выпрессовочная; *4, 6* — накладки; *5* — основание нижнего пуансона; *7* — пружина кольца; *8* — пуансон; *9* — обойма; *10* — скользящее кольцо; *11* — неподвижное кольцо; *12* — пуансон-матрица; *13* — надставка выпрессовочная; *14* — изделие.

На рис. 44 приводится схема пресс-формы с подвижным кольцом, перемещающимся относительно неподвижного нижнего пуансона. Дозировка порошка объемная с использованием формующей полости в качестве дозатора. После заполнения формующей полости порошком отверстие закрывается разрезным верхним пуансоном *12*, играющим в конечной стадии прессования роль матрицы. При приложении усилия пресса пуансон *12*, перемещаясь вниз, проталкивает перед собой скользящее кольцо *10*, и порошок перемещается в полость пуансона. При этом пуансон своими разрезными частями входит в неподвижное кольцо *11*, препятствующее расхождению клиньев. Когда порошок полностью заполнит полость пуансона, начинается обжатие порошка. При обжатии порошка проявляются силы трения о стенки скользящего кольца и о поверхность выступающей сферы нижнего пуансона *8*. С помощью сил трения прессуемый порошок скользящим кольцом увлекается в про-

странство между кольцом и пуансоном *8* и уплотняется. В конце прессования пуансон *12* вытесняет кольцо *10* за пределы формующей полости и производит окончательное обжатие порошка в изделие требуемой формы. При выталкивании изделие *14* вместе с верхним пуансоном *12* выходит из зоны неподвижного кольца *11*, разрезные части пуансона *12* расходятся, и деталь свободно извлекается из него. С нижнего пуансона изделие снимается легко в результате упругих последействий после снятия давления.

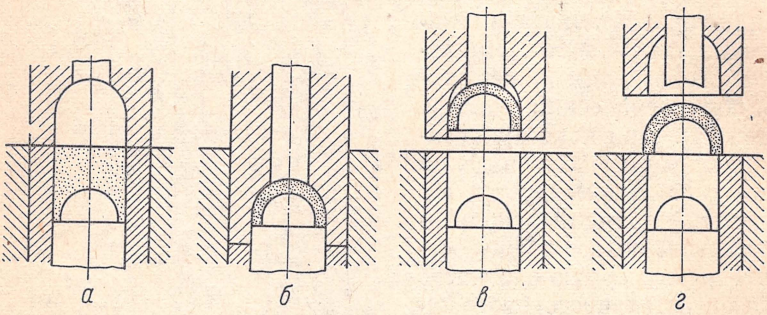


Рис. 45. Схема работы верхнего пуансона стационарной пресс-формы для прессования полусферических изделий:
а — заполнение; *б* — прессование; *в* — отход верхнего пуансона-матрицы; *г* — выталкивание изделия.

В стационарных пресс-формах для прессования таких изделий верхний пуансон может быть выполнен в виде цангового зажима или неразъемным с подвижной частью, служащей для выталкивания изделия из пуансона (рис. 45).

Применяя конструкцию пресс-формы со скользящим кольцом, формующий конец верхнего пуансона можно изготовить достаточной толщины, что невозможно при обычных конструкциях пресс-форм.

Для прессования цилиндрических изделий с большими соотношениями $\frac{h}{d}$ и равномерной плотностью по высоте может быть применена пресс-форма со скользящей матрицей (рис. 46), являющейся прототипом скользящего кольца. В такой пресс-форме для горизонтального прессования длинных стержней формующая полость образована верхним пуансоном, подвижной рамкой-матрицей и нижним пуансоном-выталкивателем. Дозирование порошка объемное с использованием матрицы в качестве дозатора.

Конструкция пресс-формы (рис. 47) для изготовления электрического полюса из порошка железа может служить примером одного из способов прессования деталей, ограниченных криволинейными поверхностями [4, 10].

Нижний пуансон устанавливается в матрице на высоте, обеспечивающей получение необходимого объема порошка. При помощи этого пуансона формуется нижняя массивная часть

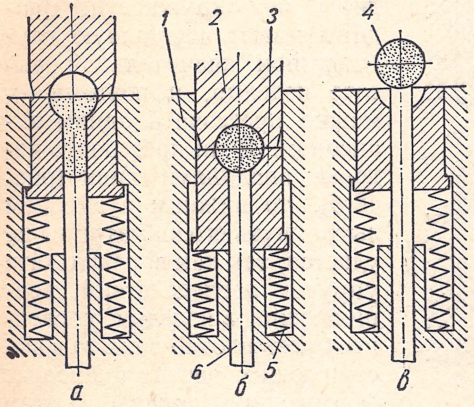


Рис. 46. Схема пресс-формы для прессования длинных круглых стержней:

а — заполнение; *б* — прессование; *в* — выталкивание изделия; *1* — корпус пресс-формы; *2* — пуансон; *3* — матрица; *4* — изделие; *5* — пружина; *6* — нижний пуансон.

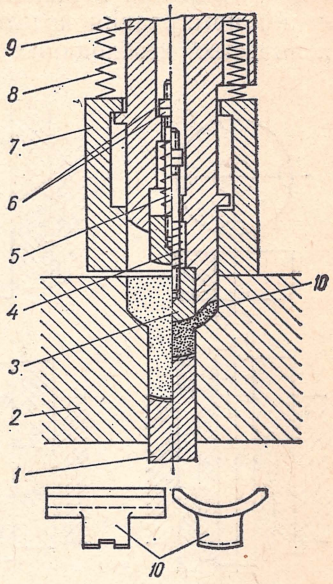


Рис. 47. Схема пресс-формы для прессования электрического полюса:

1 — нижний пуансон; *2* — матрица; *3* — вкладыш; *4* — пружина; *5* — стержень; *6* — регулировочные гайки; *7* — ограничитель; *8* — пружины ограничителя; *9* — верхний пуансон; *10* — изделие.

детали. Верхний пуансон составной, состоящий из двух независимо перемещающихся в первый период прессования деталей. При опускании пуансона подпружиненный вкладыш первым погружается в порошок и раздвигает его равномерно по всему объему матрицы. При дальнейшем ходе верхнего пуансона пружина сжимается, и вкладыш входит в тело пуансона, формующего изделие.

На схемах, приводимых в работах [4, 10], не показана деталь, препятствующая «выплескиванию» порошка из матрицы при входе вкладыша. Так как при объемной дозировке порошок заполняет матрицу вровень с ее зеркалом и, следовательно, при внедрении

вкладыша ничем не удерживается, то часть порошка может выходить за пределы формующей полости.

Большое значение при конструировании пресс-форм для прессования изделий сложной формы имеет правильный выбор направления прессования изделия. При этом следует учесть не только количество необходимых элементов составных пуансонов, но и удобство выталкивания спрессованного изделия.

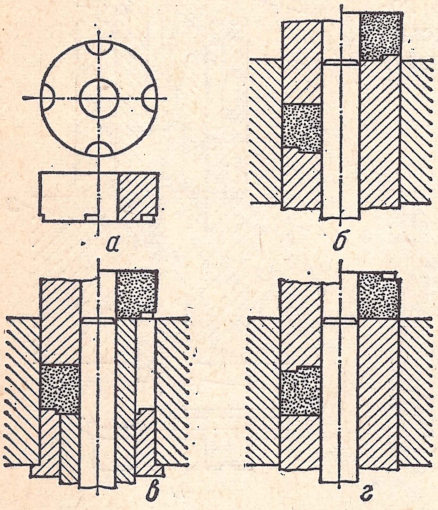


Рис. 48. Схема различных вариантов прессования изделия с неглубокими впадинами.

На рис. 48,*а* приведено изделие, имеющее четыре впадины по окружности. Впадины имеют небольшую глубину при значительной высоте изделия, и поэтому их можно прессовать одним пуансоном. Если прессовать изделие впадинами вниз (рис. 48,*б*), то нижним пуансоном вытолкнуть его из матрицы не удается, так как в результате упругих последействий, возникающих в изделии, последнее будет плотно зажато в выступающих частях пуансона, формующих впадины. В этом случае необходимо применить составной нижний пуансон (рис. 48,*в*), что усложнит, а следовательно, и сделает более дорогой пресс-форму. Значительно проще конструкция пресс-формы при прессовании изделия впадинами вверх (рис. 48,*г*), так как усилия верхнего плунжера достаточно для того, чтобы освободить выступы верхнего пуансона из впадин (изделие в это время в результате упругих последействий зажато в полости матрицы), а выталкивание детали производится сплошным нижним пуансоном.

При выборе направления прессования металлокерамических деталей следует руководствоваться следующими правилами:

а) для изделий, имеющих ось вращения, усилие прессования должно быть направлено вдоль этой оси (за исключением специальных случаев прессования деталей VII группы сложности);

б) изделия, не имеющие оси вращения, должны прессоваться в таком положении, при котором они имеют наименьшее количество переходов или изменений толщины.

Это правило хорошо иллюстрируется изделиями, приведенными на рис. 49. Изделие *1* имеет элемент, представляющий собой часть тела вращения, а изделие *2* в разных положениях может иметь разное количество переходов относительно направления усилия прессования, указанного стрелкой *А*. Изделие *1* должно прессоваться только в положении *а*, так как в положении *б* верхний пуансон должен оформлять лежащую цилиндрическую поверхность, что не даст возможности получить равномерную плотность по всему объему изделия. Если же это изделие повернуть для прессования на 180° относительно положения *а*, то выступ изделия окажется в нижнем положении, что значительно усложнит засыпку порошка в формующую полость, причем в съемной пресс-форме придется делать двукратную засыпку (засыпая порошок для тела детали на уровне выступа, вставлять пуансон и только после этого засыпать остальную часть порошка), а для стационарных пресс-форм применять специальные приспособления, позволяющие соблюдать условие пропорционального заполнения слоев порошка для различных участков детали.

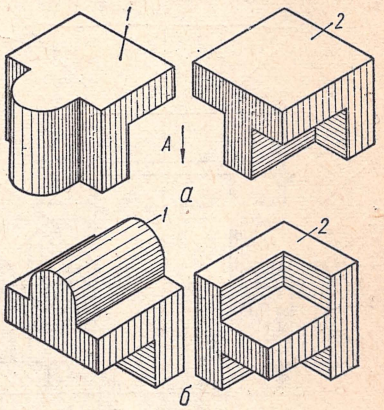


Рис. 49. Возможное расположение прессуемых деталей (к выбору направления прессования).

Изделие *2* также должно прессоваться в положении *а*, так как в этом случае при прессовании будет два перехода. В положении *б* изделие *2* имеет три перехода, что также потребует при прессовании двукратной засыпки или специальных приспособлений из-за выступа в средней части изделия.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ПРЕСС-ФОРМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЗАПОЛНЕНИЕ ПОЛОСТИ МАТРИЦ ПОРОШКОМ

Количество шихты на одно прессуемое изделие в процессе прессования может быть отобрано объемной дозировкой или весовой. При дозировании порошка взвешиванием в съемных стационарных

неавтоматических пресс-формах не предусматривается специальных дозирующих устройств, и дозирование производится на обычных весах. В случае применения стационарных неавтоматических и автоматических пресс-форм весовой дозатор является частью комплекса устройства для прессования, но обычно практически связан не с пресс-формой, а непосредственно с прессом, и работает в зависимости от положения плунжера пресса. Связь эта может быть как электрическая, так и механическая. Пример такого весового дозатора приведен в работе [31].

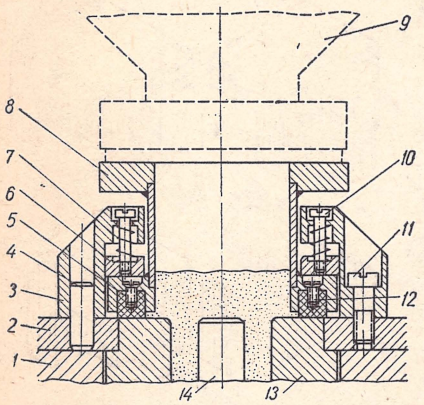


Рис. 50. Схема кассеты-питателя:
1 — стол матрицы; *2* — накладка; *3* — направляющие; *4* — штифт; *5* — уплотнение; *6* — прижим; *7* — пружина; *8* — верхняя плита; *9* — бункер; *10* — винт; *11* — винт направляющей; *12* — винт уплотнения; *13* — матрица; *14* — стержень.

Объемная дозировка может производиться двумя способами: применением специальных дозаторов с регулируемой емкостью (объем зависит от насыпного веса порошка) и применением в качестве дозатора формующей полости пресс-формы. Первый вид дозировки применяется практически только для съемных пресс-форм, редко для стационарных неавтоматических, и требует последующего разравнивания слоя засыпанного порошка. Второй вид дозировки применяется наиболее часто, а в автоматических пресс-формах почти всегда, и позволяет в конце процесса заполнения автоматически разравнивать засыпанный в полость пресс-формы порошок. Это наиболее производительный вид дозировки.

При объемной дозировке с использованием формующей полости в качестве дозатора регулировка высоты слоя засыпки осуществляется непосредственно регулирующими устройствами пресс-формы, о которых было сказано выше. Заполнение полости матрицы производится кассетой-питателем (рис. 50), передвигающимся от стационарного бункера с порошком к полости пресс-формы и обратно.

В некоторых случаях, когда пресс-форма служит для прессования мелких деталей, транспортировка порошка к матрице производится непосредственно подвижным бункером, который перед или во время движения верхнего пуансона отводится в сторону (рис.51).

На специализированных прессах такое движение кассеты-питателя обеспечивается непосредственно конструкцией пресса.

При прессовании деталей на обычных прессах в автоматических пресс-формах движение питателя осуществляется при помощи верхнего или нижнего пуансонов или имеет автономный привод, срабатывающий при определенных положениях частей пресс-формы.

При неавтоматическом цикле прессования передвижение кассеты-питателя чаще всего осуществляется вручную.

Движение дозирующих элементов пресс-формы может быть поступательным или колебательным и осуществляться механическим, пневматическим, гидравлическим, электрическим или электромагнитным приводами. При конструировании привода питателя следует учитывать следующие основные требования:

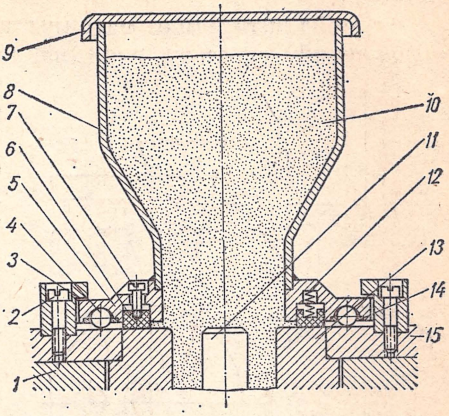


Рис. 51. Схема подвижного бункера:
1 — стол матрицы; *2* — винт; *3* — накладка; *4* — шарик; *5* — корпус; *6* — уплотнение; *7* — винт уплотнения; *8* — емкость бункера; *9* — крышка; *10* — порошок; *11* — стержень; *12* — пружина; *13* — матрица; *14* — сепаратор; *15* — накладка.

1. Нельзя связывать непрерывной кинематической связью механический привод подвода питателя к матрице с движением выталкивателя.

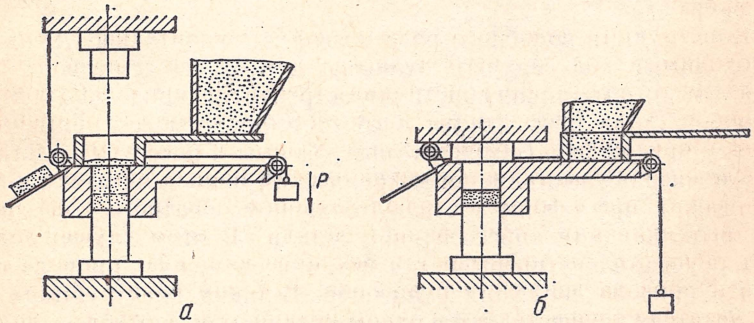


Рис. 52. Схема механического привода питателя (бункера) с использованием гравитационных сил:
а — заполнение; *б* — прессование.

2. Нельзя связывать непрерывной кинематической связью механический привод подвода питателя с движением верхнего пуансона, если выталкивание производится за счет усилия обратного хода пресса.

3. Отвод питателя от матрицы под бункер желательно связывать с движением верхнего пуансона (верхней траверсы пресс-формы), что обеспечивает синхронность работы этой пары.

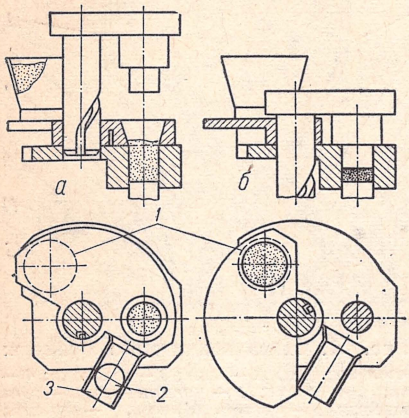


Рис. 53. Схема механического привода кассеты-питателя (бункера), имеющего колебательное движение:

а — заполнение; *б* — прессование; *1* — место расположения бункера (штриховая линия); *2* — деталь; *3* — лоток.

На рис. 52 изображен самый простейший вид питателя с механическим приводом. Этот привод настолько прост по устройству, что не требует специального объяснения. Недостаток этого механизма заключается в том, что путь питателя равен пути движения верхнего пуансона. Это требует большого холостого хода пресса.

На рис. 53 приведена схема другого вида механического привода кассеты-питателя, совершающего колебательные движения. Перемещение такого питателя осуществляется с помощью винтового паза, отводящего питатель под бункер при движении верхнего пуансона вниз и подводящего к матрице при движении его вверх.

Конструкция подобного рода позволяет значительно уменьшить необходимый ход верхнего пуансона для отвода и подвода питателя. Вместе с тем такая конструкция требует сравнительно больших размеров стола пресс-формы и соответственно может применяться только при малых габаритах пресс-формы и прессуемых деталей.

Сложнее осуществляется механический привод питателя в автоматических пресс-формах с использованием обратного хода пресса для выталкивания спрессованной детали. В этом случае должна быть осуществлена прерывистая механическая связь привода питателя и привода движения пуансонов. В таких конструкциях подвод питателя осуществляется одним механизмом, а отвод — другим. Чаще всего питатель подается к матрице при помощи пружинного механизма, срабатывающего в момент окончания выталкивания

спрессованного изделия и снабженного механизмом, регулирующим скорость хода подачи, а отвод совершается с помощью клинового устройства (рис. 54).

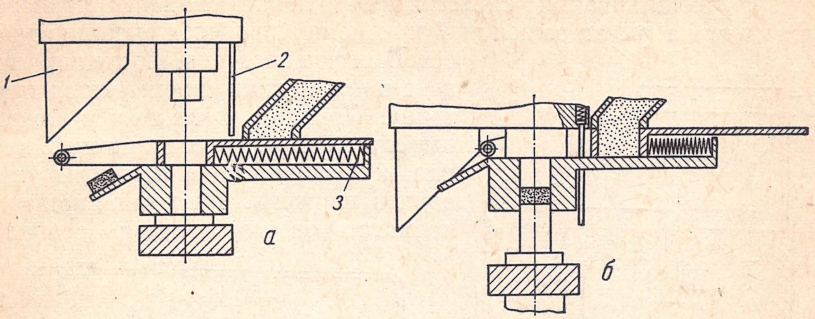


Рис. 54. Схема двойного привода кассеты-питателя:
а — заполнение; *б* — прессование; *1* — клин для отвода питателя; *2* — подпружиненная штанга для фиксации; *3* — пружина для подвода питателя.

В некоторых случаях подвод питателя осуществляется с помощью реечной передачи и размыкающейся муфты [24], позволяющих ускорить движение питателя по отношению к скорости движения пуансона, или с помощью устройства, освобождающего тяги, которые перемещают нижнюю траверсу с пуансонами-выталкивателями [23].

Оригинальный отвод питателя применен в автоматической пресс-форме, схема которой приведена на рис. 55. На верхней траверсе установлен шток *5*, который при движении верхнего пуансона вниз нажимает на рычаг *4*, сидящий на одной оси с зубчатым сектором *3*, соединенным в свою очередь с зубчатой рейкой питателя. Рычаг, поворачиваясь, через зубчатый сектор отводит питатель в крайнее левое положение (под бункер). В этом положении конец штока *5*

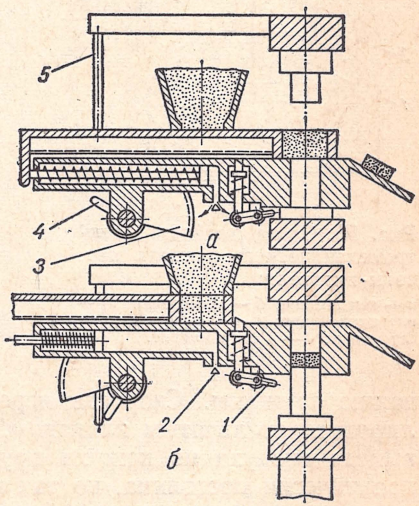


Рис. 55. Схема двойного привода кассеты-питателя с ускоренным ее отводом (отвод сектором, подвод пружиной):
а — заполнение; *б* — прессование.

скользит по кромке рычага и проходит далее вниз, не препятствуя ходу прессования. В этот же момент срабатывают защелки, удерживающие питатель под бункером при отходе штока вверх.

При выталкивании спрессованной детали нижняя траверса нажимает на рычаг защелки *1* и к концу процесса выталкивания освобождает питатель. Последний под действием пружин перемещается к матрице. Пружина помещена в кожух, имеющий отверстие с игольчатым клапаном *2*, а на штоке пружины установлен поршень. Воздушная подушка препятствует мгновенному срабатыванию пружины. Скорость передвижения питателя можно регулировать игольчатым клапаном, позволяющим изменять скорость выхода воздуха из кожуха пружины. Скорость отвода питателя практически постоянна, но так как радиус поворотного рычага *4* меньше радиуса начальной окружности зубчатого сектора, то скорость питателя больше скорости перемещения верхнего пуансона. В результате непроизводительный ход пуансона может быть значительно уменьшен.

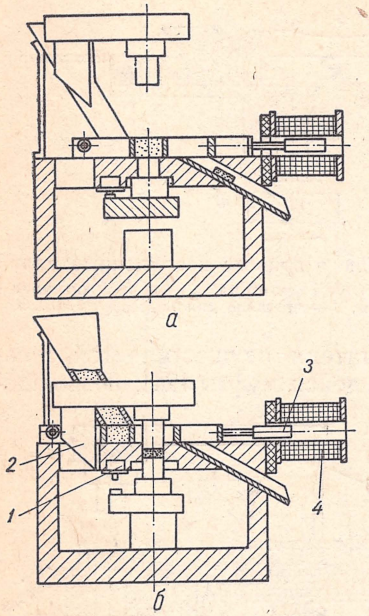


Рис. 56. Схема двойного электромеханического привода кассеты-питателя:

а — заполнение; *б* — прессование; *1* — электроконтакт; *2* — клин отвода; *3* — сердечник; *4* — электромагнит.

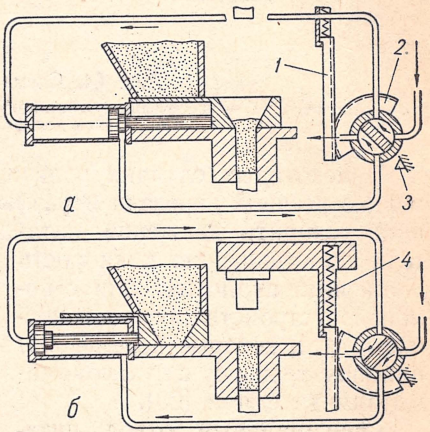


Рис. 57. Схема пневматического привода кассеты-питателя:

а — заполнение; *б* — отвод питателя; *1* — зубчатая рейка; *2* — зубчатый сектор; *3* — упор сектора; *4* — компенсационная пружина.

В пресс-форме, схема которой изображена на рис. 56, отвод питателя осуществляется клином, а подвод — электромагнитным приводом, включающимся в момент окончания выталкивания спрессованного изделия. В некоторых случаях вместо клина отвод питателя производится также электромагнитом.

На рис. 57 изображена схема пневматического привода питателя. Такой привод подсоединен к магистрали сжатого воздуха. Переключение крана может осуществляться с помощью зубчатого сектора.

Аналогично действует гидравлический привод.

Схема действия электромеханического автономного привода питателя приведена на рис. 58. Такая схема рациональна при прессовании изделий небольшой высоты и небольшом ходе пресса, так как питатель подходит к матрице, когда нижний пуансон отведен в нижнее крайнее положение.

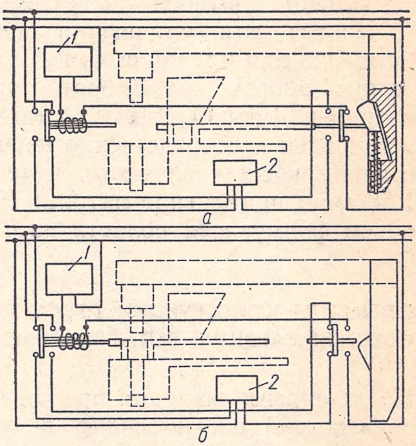


Рис. 58. Схема действия электромеханического автономного привода кассеты-питателя:

а — положение перед включением электродвигателя (*2*) питателя и выключением электродвигателя (*1*) пресса; б — положение в момент включения обратного хода электродвигателя (*2*) питателя.

При движении верхнего пуансона вниз в момент остановки нижнего пуансона специальный кулачок останавливает пресс и включает электромотор привода питателя. Питатель, проходя над матрицей, заполняет пресс-форму и включает контакт обратного хода двигателя. В крайнем заднем положении упор питателя размыкает контакт привода питателя и включает механизм привода пресса. Происходит прессование и выталкивание (пресс автоматический), после чего цикл повторяется.

Для улучшения процесса заполнения формующей полости шихтой, особенно при прессовании изделий с тонкими стенками или плохой сыпучестью шихты, необходимо конструировать пресс-форму так, чтобы нижний пуансон (или комплекс нижних пуансонов), вытолкнувший изделие, начинал свое движение вниз только после того, как питатель остановится над формующей полостью пресс-формы. Двигаясь вниз, пуансон как бы засасывает шихту, что способствует лучшему заполнению полости.

В некоторых случаях заполнение производят при убирающемся стержне, который впоследствии, возвращаясь на место, выталкивает лишний порошок. Выход стержня должен производиться в то время, когда питатель находится над формующей полостью, так как в противном случае вытолкнутый из полости порошок располагается над отверстием матрицы и во время входа верхнего пуансона в формующую полость захватывается им, что приводит к нестабильной плотности получаемых изделий.

Иногда для улучшения процесса заполнения пресс-формы (особенно при плохой сыпучести шихты) применяют питатель, снабженный вибратором. Вибратор приводится в действие над полостью матрицы. Лучший эффект достигается в том случае, когда вибратор установлен непосредственно на матрице. Так, например, при прессовании восстановленного железного порошка с насыпным весом 1,56 *г/см*^{3} применение матрицы с вибратором позволяет уменьшить объем формующей полости на 15—20%.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ПРЕСС-ФОРМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ВЫТАЛКИВАНИЕ СПРЕССОВАННОГО ИЗДЕЛИЯ

После снятия давления прессования изделие в результате упругих последствий плотно сидит в формующем гнезде, и поэтому для его выталкивания требуется приложить определенное усилие.

Выталкивание изделий I—III групп сложности может производиться вверх или вниз, в зависимости от типа изделия и конструкции пресс-формы. Изделия IV—VII групп сложности обычно выталкиваются вверх, так как это обусловлено необходимостью в регулировке слоя порошка для отдельных элементов изделия. Выталкивание изделия через верхнее отверстие матрицы в свою очередь может быть произведено по двум схемам [6, 19, 43]:

1) матрица неподвижна и извлечение из нее изделия производится с помощью нижних пуансонов, играющих в данном случае роль выталкивателей;

2) нижние пуансоны неподвижны, и извлечение изделия из матрицы производится стягиванием ее при помощи специальных упоров или тяг.

Первая схема чаще применяется в специализированных прессах, а также в автоматических пресс-формах, устанавливаемых на неспециализированных прессах с верхним приводом. Такая система позволяет производить весь цикл операции прессования за один ход пресса.

Вторая схема применяется чаще в неавтоматических пресс-формах, устанавливаемых на неспециализированных прессах, а также на ряде зарубежных механических специализированных прессах с жесткой связью нижнего привода и стола матрицы.

Предохраняет изделие от поломки выталкивание с применением разъемной матрицы [6, 19]. Этот вид выталкивания применяется, главным образом, в съемных пресс-формах при прессовании изделий, имеющих очень сложную конфигурацию в плане, а также изделий, имеющих тонкие бурты, большие фланцы и т. д. Такие пресс-формы могут применяться с целью уменьшения износа стенок матрицы при выталкивании изделий большой высоты по отношению к диаметру или большой плотности (при обычной неразъемной матрице большие усилия выталкивания) [6]. Разъемная матрица выполняется с наружным конусом, имеющим угол наклона образующей 2—3°. Она запрессовывается в обойму с таким же обратным конусом. При разъеме достаточно столкнуть обойму с матрицы, чтобы клинья разошлись и освободили изделие. Сталкивание обоймы осуществляется легко благодаря наличию конуса. Увеличение угла наклона образующей конуса может привести к выползанию клиньев матрицы из обоймы во время прессования, уменьшение угла наклона приводит к большему ходу сталкивания обоймы и большему ее износу.

В стационарных пресс-формах части разъемной матрицы иногда шарнирно связывают с выталкивателем, выталкивающим их на 10—15 *мм* из обоймы. Спрессованное изделие при этом освобождается и свободно выталкивается поднятием нижнего пуансона. После возвращения нижнего пуансона в исходное положение выталкиватель пресса затягивает клинья матрицы в обойму, и пресс-форма готова к следующему циклу прессования.

В процессе конструирования автоматической пресс-формы с разъемной (цанговой) матрицей следует обязательно предусматривать приспособления для встряхивания или продувания матрицы перед каждой сборкой, осуществляемой в процессе прессования. Это необходимо для удаления порошка, попадающего между клиньями матрицы при выпрессовке предыдущего изделия.

Для устранения попадания порошка между клиньями матрицы в некоторых случаях их устанавливают в верхнем пуансоне.

В стационарных пресс-формах разъемная клиновая матрица широкого применения не получила.

В пресс-формах, имеющих неразъемную матрицу и применяемых для прессования деталей IV—VII групп сложности, в процессе выталкивания такие элементы прессуемых деталей, как бурты,

фланцы и различные выступы, до полного выхода из матрицы должны поддерживаться специальными поддерживающими элементами пресс-формы. Чаще всего эти функции выполняют нижние пуансоны.

На рис. 59 приводятся две схемы выталкивания из матрицы изделия типа втулки с буртом. Если сила трения стенок выступающих частей изделия о матрицу больше силы трения самого изделия о внутреннюю формующую поверхность пуансона, то в пресс-форме убирается вначале упор *1* и производится сталкивание матрицы до выхода выступающих элементов изделия за ее пределы, затем убирается упор *2* и производится сталкивание подвижного пуансона с остального тела детали (рис 59, *II*). Если при сталкивании матрицы и пуансона убрать сразу оба упора, то возможна поломка выступающих частей изделия, плотно зажатых в матрице, так как в первую очередь начинает движение матрица и в результате сил трения стремится увлечь за собой выступающие части, поддерживаемые только незакрепленным подвижным пуансоном.

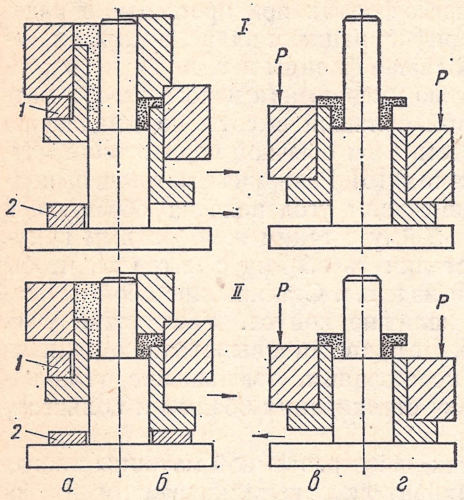


Рис. 59. Схема выталкивания изделия сложной формы:

I — выталкивание с использованием силы трения; *II* — выталкивание с использованием упоров; *а* — заполнение; *б* — прессование; *в* — выталкивание выступающих частей; *г* — выталкивание тела изделия; *1* и *2* — съемные упоры.

Если сила трения стенок выступающих частей изделия о матрицу меньше, чем сила трения изделия о стенки подвижного пуансона, то при сталкивании матрицы и пуансона можно убрать оба упора (рис. 59, *I*). В этом случае выступающие части изделия при соскальзывании матрицы надежно поддерживаются подвижным пуансоном, удерживаемым силой трения о боковую поверхность основного тела изделия, опирающегося на неподвижный пуансон.

Аналогичную картину можно наблюдать и при выталкивании изделия пуансонами при неподвижной матрице, так как практически относительное перемещение пуансонов и матрицы в обоих случаях одинаковое, только в первом случае относительно неподвижного стола пресса перемещается матрица, во втором — пуансоны.

При выпрессовке изделия из неавтоматической пресс-формы с одним внутренним стержнем рациональнее вначале сталкивать матрицу с детали, так как в результате упругих последействий изделие и стержень освобождаются от обжимающих усилий и изделие можно снять со стержня, не применяя усилия пресса. Износ стержня при этом значительно уменьшается. При наличии двух и более стержней необходимо вначале вытолкнуть стержни, а затем изделие вытолкнуть из матрицы (или матрицу стянуть с изделия).

На рис. 60 изображена схема пресс-формы с несколькими стержнями. Выталкивание производится с помощью надставки, которая своими штырями давит на стержни *3*, упирающиеся в нижний пуансон. Остальные стержни *4* запрессованы в нижнем пуансоне *5*, и он, идя вниз под усилием пресса, передаваемым надставкой, извлекает их из спрессованного изделия. Во время их выпрессовки изделие держится в матрице за счет силы трения, во много раз большей, чем сила трения, препятствующая выпрессовке стержней. После полного выхода стержней надставка ложится на верхний пуансон и, передавая через него давление на изделие, выталкивает последнее под матрицу в пространство, образующееся после удаления съемной подставки *2*, поддерживающей нижний пуансон. Если вытолкнуть изделие вместе со стержнями, то возникшие между ними в результате упругих последействий распорные усилия могут разрушить изделие и привести к поломке стержней.

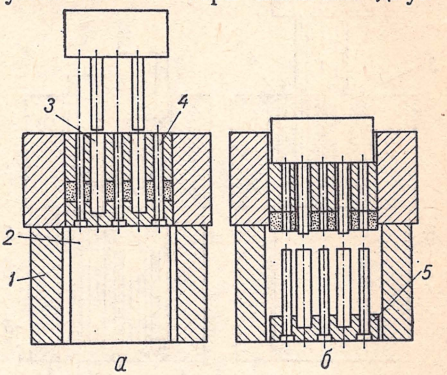


Рис. 60. Схема выталкивания изделия с несколькими отверстиями с извлечением стержней при удерживании изделия в матрице за счет силы трения:

а — положение перед выталкиванием; *б* — положение в конце выталкивания; *1* — неподвижная подставка; *2* — съемная подставка; *3* — стержни упора; *4* — стержни; *5* — нижний пуансон.

Если аналогичное изделие имеет поверхность контакта относительно стержней больше, чем относительно матрицы, то сила трения между изделием и матрицей будет меньше требуемого усилия для выталкивания стержней. В этом случае конструкция пресс-формы должна быть несколько видоизменена (рис. 61). Подставка матрицы делается внутри фигурной, несколько удлиненной и имеет бо́льшую высоту по сравнению с нижним пуансоном, а нижний

пуансон выполняется составным (нижняя часть его имеет по бокам лыски и опирается на подставку матрицы). В нижнюю часть пуансона так же, как и в первом случае, запрессовываются стержни. Верхняя часть пуансона представляет собой пластину с отверстиями для прохода стержней и при прессовании опирается на нижнюю часть пуансона (рис. 61, *а*). При выталкивании стержней подставка матрицы устанавливается так, что нижняя часть пуансона своими лысками входит в узкую часть паза, а верхняя часть пуансона опирается на эту подставку. Подставка пуансона, как и в первом случае, вынимается. При выталкивании деталь удерживается как силами трения о стенки матрицы, так и верхней частью нижнего пуансона (рис. 61, *б*). После выталкивания стержней подставка перемещается под отверстие матрицы широкой частью паза. При дальнейшем приложении усилия выталкивания изделие выходит под матрицу вместе с верхней частью нижнего пуансона (рис. 61, *в*).

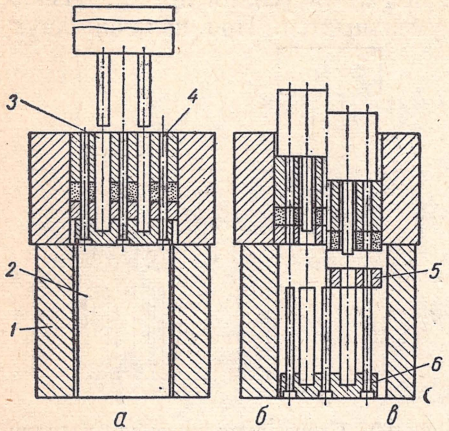


Рис. 61. Схема выталкивания изделия с несколькими отверстиями с принудительным удерживанием изделия в матрице:

а — положение перед выталкиванием; *б* — выталкивание стержней; *в* — выталкивание изделия; *1* — неподвижная подставка; *2* — съемная подставка; *3* — стержни упора; *4* — стержни; *5* — верхняя (поддерживающая) часть пуансона; *6* — нижняя часть пуансона.

В автоматических пресс-формах выталкивание детали чаще всего осуществляется одновременно как со стержней, так и из матрицы.

Выпрессовка изделий VI и VII групп сложности осуществляется по более сложным схемам, которые являются комбинациями рассмотренных выше принципов.

Так, например, для изделий с кольцевым пазом (пресс-формы для прессования изображены на рис. 41) выпрессовка может производиться по трем вариантам (в каждом из вариантов показан порядок освобождения формующих элементов):

I — пуансон, формующий кольцевой паз,— матрица — стержень (рис. 41, *а*);

II — пуансон, формующий кольцевой паз,— стержень — матрица (рис. 41, *б*);

III — применяется в стационарных пресс-формах и предусматривает одновременное освобождение всех формующих элементов (начало движения пуансона кольцевого паза должно несколько опережать начало движения матрицы).

При сталкивании матрицы до извлечения пуансона, формующего кольцевой паз, в результате упругих последействий, возникающих во внутренней «юбке» детали, может произойти не только разрушение наружной «юбки», но и поломка кольцевого пуансона. Поэтому во всех случаях вначале предусматривается освобождение пуансона, формующего кольцевой паз.

При конструировании пресс-форм с разъемным пуансоном следует учитывать величину упругих последействий и ширину кольцевого паза изделия.

На рис. 62 представлена схема расположения разрезного пуансона в кольцевом пазе изделия в конце прессования и после освобождения наружного контура изделия. При освобождении наружного контура в результате упругих последействий размеры кольцевого паза увеличиваются, изменяя величину кривизны поверхности паза. В результате этого части пуансона при неправильном выборе количества разъемов могут быть зажаты в точках A, B и E. Для того чтобы выбрать правильное количество разъемов, следует исходить из сопоставления величин

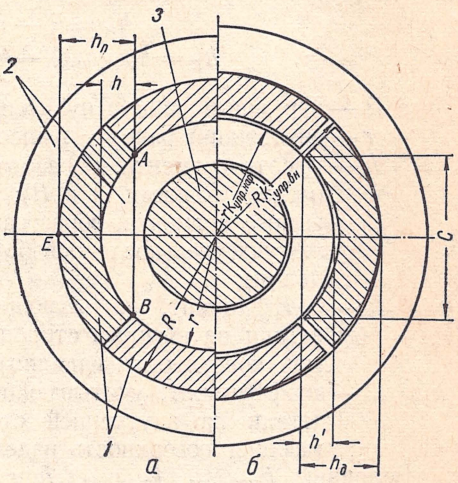


Рис. 62. Схема к расчету количества разъемов пуансона, формующего кольцевой паз:

а — положение после прессования; *б* — положение после освобождения наружной поверхности детали; *1* — разрезной пуансон; *2* — деталь с кольцевым пазом; *3* — стержень.

$$h_п \leqslant h_д, \qquad (12)$$

где $h_п$ — радиальный габарит проекции пуансона на плоскость, перпендикулярную его оси симметрии в направлении усилия прессования;

$h_д$ — радиальный габарит проекции кольцевого паза детали (после освобождения наружного контура изделия), огра-

ниченной точками A и B элемента пуансона, на ту же плоскость.

При выполнении условий, определяемых выражением (12), составные части пуансона после освобождения наружной поверхности прессовки свободно выйдут из кольцевого паза.

Величины $h_п$ и $h_д$ можно определить из уравнений

$$h_п = R - r + h;$$

$$h_д = k_{упр.\ вн} R - k_{упр.\ нар} r + h',$$

где R — наружный радиус пуансона;

r — внутренний радиус пуансона;

h — высота сегмента, образованного пуансоном на участке C (между точками A и B);

h' — высота сегмента, образованного кольцевым пазом на этом же участке (после освобождения наружного контура изделия);

$k_{упр.\ нар}$ — коэффициент, учитывающий упругие последействия в теле детали на внешней стороне внутренней «юбки» (обжимаемая поверхность изделия);

$k_{упр.\ вн}$ — коэффициент, учитывающий упругие последействия в теле детали на внутренней стороне наружной «юбки» (обжимающая поверхность изделия).

Величины $k_{упр.\ нар}$, $k_{упр.\ вн}$, h и h' можно определить из уравнений

$$k_{упр.\ нар} = 1 + \frac{\alpha_{п_н}}{100};$$

$$k_{упр.\ вн} = 1 + \frac{\alpha_{п_в}}{100};$$

$$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{C^2}{4}};$$

$$h' = k_{упр.\ нар}\, r - \sqrt{(k_{упр.\ нар}\, r)^2 - \frac{C^2}{4}},$$

где $\alpha_{п_н}$ и $\alpha_{п_в}$ — радиальное процентное увеличение соответствующих размеров детали в результате упругих последействий;

C — расстояние между точками A и B пуансона.

Таким образом, формула (12) в полном выражении примет вид

$$R - \sqrt{r^2 - \frac{C^2}{4}} \leqslant k_{упр.\ вн} R - \sqrt{(k_{упр.\ нар}\, r)^2 - \frac{C^2}{4}}. \qquad (13)$$

Учитывая, что при изготовлении разрезного пуансона должно быть принято количество разъемов не меньше трех, а применение пуансонов с количеством разъемов более восьми нецелесообразно, величину C можно выразить через радиус r, упростив тем самым формулу (13). В основу такого упрощения положено выражение

$$C = 2\sin\frac{\alpha}{2}r,$$

где α — центральный угол, величина которого зависит от количества разъемов пуансона.

Выбор упрощенной формулы зависит от количества разъемов пуансона и производится по табл. 1.

Таблица 1

Упрощенные формулы к проверочному расчету количества разъемов пуансона, формующего кольцевой паз

Количество плоскостей разъема пуансона	Значения C и $\frac{C^2}{4}$ выраженные через радиус		Формула
	C	$\frac{C^2}{4}$	
3	$1{,}7320r$	$0{,}7500r^2$	$R - 0{,}5000r \leqslant k_{\text{упр. вн}}R - r\sqrt{k^2_{\text{упр. нар}} - 0{,}7500}$
4	$1{,}4142r$	$0{,}5000r^2$	$R - 0{,}7071r \leqslant k_{\text{упр. вн}}R - r\sqrt{k^2_{\text{упр. нар}} - 0{,}5000}$
6	r	$0{,}2500r^2$	$R - 0{,}8660r \leqslant k_{\text{упр. вн}}R - r\sqrt{k^2_{\text{упр. нар}} - 0{,}2500}$
8	$0{,}7654r$	$0{,}1465r^2$	$R - 0{,}9239r \leqslant k_{\text{упр. вн}}R - r\sqrt{k^2_{\text{упр. нар}} - 0{,}1465}$

Примечание. Расчеты следует производить с точностью до третьего знака после запятой.

Для проверочных расчетов (при условии, что значение $\alpha_{\text{п}_\text{в}} \geqslant \alpha_{\text{п}_\text{н}}$) количество разъемов можно ориентировочно принимать в зависимости от следующего соотношения радиусов R и r кольцевого паза.

Соотношение R и r	$R \geqslant 2r$	$R \geqslant 1{,}4r$	$R \geqslant 1{,}2r$	$R \geqslant 1{,}1r$
Количество разъемов в пуансоне	3	4	6	8

Чем плотнее прессуемое изделие, тем выше давление прессования и, следовательно, больше упругие деформации формующих элементов, больше усилие выталкивания, которое вызывает значительное трение изделия о стенки матрицы. При прессовании таких изделий в полости матриц пресс-форм целесообразно предусматривать выходные конусы с углом наклона образующей, равным примерно 0,5°, и высотой, определяемой выражением

$$h_к = \frac{l_п}{2 \operatorname{tg} \alpha} + (1 \div 2)\ мм, \qquad (14)$$

где $h_к$ — высота выходного конуса, *мм*;

$l_п$ — увеличение наружного диаметра изделия в результате упругих последействий после его выталкивания из матрицы;

α — угол наклона образующей конуса к оси формующей полости.

В заключение следует сказать, что общими правилами конструирования элементов пресс-форм, предназначенных для выталкивания металлокерамических изделий из формующей полости, являются:

1) для всех внешних контуров и выступов изделия, заключенных в выемках формующих частей, следует предусматривать устройство для их принудительного выталкивания*;

2) для освобождения из формующей полости тонких широких элементов изделия необходимо применять поддерживающие устройства;

3) при применении разъемных матриц необходимо выбирать количество разъемов таким образом, чтобы изделие не оставалось зажатым в какой-либо из частей разъемной матрицы;

4) для обеспечения выталкивания изделий сложной формы или изделий, прессуемых с большими давлениями, в отдельных частях матрицы необходимо предусматривать уклоны и радиусы;

5) при выборе направления прессования изделия следует учитывать не только количество потребных составных пуансонов и их расположение (нижнее или верхнее), но и удобство выталкивания изделия.

Правильное использование изложенных принципов при конструировании элементов пресс-форм обеспечит возможность выталкивания изделия из формующей полости без разрушения.

---

* Внутренние контуры и отверстия после освобождения внешних контуров изделия в результате упругих последействий расширяются, и поэтому стержни и другие формующие элементы свободно извлекаются из отверстий. Если изделие имеет несколько отверстий, то оно может быть зажато между стержнями даже после освобождения наружного контура.

Автоматизация процесса прессования в мировой практике идет по двум основным направлениям:

1) применение автоматических специализированных многоходовых прессов со сравнительно простым пресс-инструментом, состоящим из матрицы, пуансонов и стержней, движение которых осуществляется соответствующими рабочими органами пресса;

2) применение обычных неспециализированных прессов со сложными автоматическими пресс-формами.

Второе направление в ряде случаев приближается к первому, а именно, когда предусматривается автоматическая пресс-форма со сменным формующим инструментом.

При конструировании автоматической пресс-формы следует учитывать следующие требования:

а) конструкция должна заключать в себе все механизмы и устройства, необходимые для обеспечения всего процесса прессования (от загрузки порошка в полость матрицы до съема со стола матрицы вытолкнутого из формующей полости спрессованного изделия);

б) конструкция при работе должна обеспечить строгое взаимодействие всех механизмов (их перемещение должно осуществляться в определенной последовательности и в определенные отрезки времени);

в) допуски и посадки движущихся рабочих частей должны назначаться с особым вниманием.

Здесь же следует отметить, что наша промышленность применяет в металлокерамическом производстве как специализированные многоходовые прессы, так и неспециализированные (большей частью гидравлические), предназначенные, например, для производства пластмассовых изделий. Усилие выталкивателя в гидравлических неспециализированных (с точки зрения металлокерамического производства) прессах составляет обычно 10—12% от усилия, развиваемого основным плунжером пресса, тогда как усилие выталкивания спрессованного металлокерамического изделия составляет иногда 30% и выше от усилия прессования. В результате, применяя схему пресс-формы с использованием выталкивателя пресса, можно использовать только 35—40% усилия основного плунжера.

Для более полного использования усилия пресса обычно применяют схему пресс-формы с выталкиванием изделия за счет обратного хода пресса (рис. 27, 56, 63), равного примерно 20—25% рабочего

усилия, т. е. в два раза больше, чем усилие выталкивателя. В этом случае можно использовать вдвое большую величину основного усилия, что составит уже не 35—40, а 70—80% основного усилия.

Однако при этом следует учитывать увеличение продолжительности цикла работы пресса, а следовательно, понижение его производительности, так как с применением для выталкивания обратного хода пресса увеличивается требуемый ход верхнего пуансона.

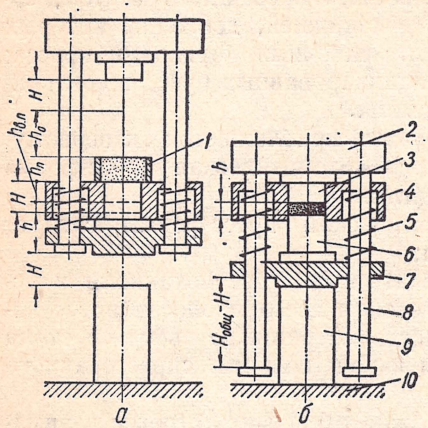


Рис. 63. Схема стационарной пресс-формы с выталкиванием при помощи обратного хода пресса:

а — перед заполнением; *б* — в конце прессования; *1* — питатель; *2* — верхняя траверса; *3* — верхний пуансон; *4* — стол матрицы; *5* — пружина для отвода нижней траверсы; *6* — нижний пуансон; *7* — нижняя траверса; *8* — тяги; *9* — упор; *10* — стол пресса.

Ход верхнего пуансона, а следовательно, и ход траверсы пресс-формы в данном случае состоит из следующих величин:

$$H_{общ} = H + h_0 + h_п + h_{в.\,п}, \quad (15)$$

где $H_{общ}$ — ход траверсы пресс-формы;

H — высота слоя засыпки (длина хода выталкивателя);

h_0 — путь траверсы, необходимый для вывода питателя из зоны действия пуансона;

$h_п$ — высота питателя;

$h_{в.\,п}$ — путь прессования верхним пуансоном.

Приведенная зависимость показывает, что два последних слагаемых являются примерно постоянными числами для случаев прессования изделий одинаковой высоты и плотности. Следовательно, уменьшить величину хода траверсы можно только за счет устранения его для заполнения пресс-формы и уменьшения — для отвода питателя из зоны действия пуансонов. Для сокращения хода траверсы применяются различные приспособления, как например: отсоединение тяги в момент окончания выталкивания и возвращение нижнего пуансона в исходное положение независимо от движения верхней траверсы [23], применение автономного привода питателя, не зависящего от движения плунжера пресса (рис. 58), применение ускоренного перемещения питателя (рис. 55) и другие приемы.

Так, например, применив ускоренную передачу привода питателя и разъемное соединение типа захватов в системе тяга—нижняя траверса, можно значительно уменьшить требуемый ход верхней траверсы пресс-формы, а следовательно, и ход пресса. В этом случае формулу пути перемещения траверсы можно выразить следующим образом:

$$H'_{\text{общ}} = h_{\text{п}} + k_{\text{п}} h_0 + h_{\text{в. п}},$$

где $k_{\text{п}}$ — коэффициент передаточного числа системы привода питателя, $k_{\text{п}} = \frac{1}{i}$;

i — передаточное число привода питателя.

Настоящее равенство справедливо при $H'_{\text{общ}} > H$.

Главным требованием при конструировании автоматических пресс-форм является обеспечение взаимодействия всех механизмов.

В табл. 2 приведено расположение основных движущихся частей автоматических пресс-форм в процессе прессования изделия при использовании пресса с автономным выталкивателем и при использовании для выталкивания спрессованного изделия обратного хода пресса.

Для проверки взаимодействия деталей в процессе конструирования автоматической пресс-формы необходимо построить график движения отдельных ее элементов.

На рис. 64 показаны графики движения отдельных элементов автоматической пресс-формы. На оси ординат отложен путь, проходимый каждой движущейся частью, а на оси абсцисс — отрезки времени, за которые совершается это движение.

На рис. 64 применены следующие обозначения:

$t_{\text{общ}}$ — общая продолжительность цикла прессования;

$t_{\text{зап}}$ — общая продолжительность этапа заполнения полости пресс-формы;

$t_{\text{пр}}$ — общая продолжительность этапа прессования;

$t_{\text{выт}}$ — общая продолжительность этапа выталкивания;

t_1 — продолжительность отхода вниз нижнего пуансона;

t_2 — отрезок времени между моментом остановки нижнего пуансона и замыканием полости матрицы верхним пуансоном для варианта *А* (рис. 64, *а*);

t'_2 — то же для варианта *Б* (рис. 64, *б*);

t''_2 — продолжительность хода нижнего пуансона вверх при перемещении части порошка в формующую полость верхнего пуансона (рис. 64, *б*);

t_3 — продолжительность рабочего хода верхнего пуансона;

Этапы	Операции	Положение частей пресс-формы, имеющей выталкиватель, связанный с верхним пуансоном			
		Пуансоны		Подвижная (плавающая) матрица или подвижный (плавающий) стержень	Кассета-питатель
		верхний	нижний (выталкиватель)		
Заполнение	Подготовка к заполнению	В крайнем верхнем положении			Над полостью матрицы
	Заполнение	Движется вниз	Движется вниз под действием пружин	В крайнем верхнем положении	То же
	Конец заполнения	То же	В крайнем нижнем положении	То же	» »
Прессование	Начало прессования	» »	То же	» »	Отходит под основной бункер
	Прессование	» »	» »	Движется вниз под действием силы трения	То же или находится под основным бункером
	Конец прессования	В крайнем нижнем положении			Под основным бункером
Выталкивание	Начало выталкивания	Движется вверх	В крайнем нижнем положении	Начинает движение вверх или стоит в нижнем крайнем положении	Под основным бункером или начинает движение к матрице
	Выталкивание	То же	Движется вверх		Движется к матрице
	Конец выталкивания	В крайнем верхнем положении			Сталкивает спрессованную деталь и останавливается над матрицей

Таблица 2

пресс-формы в процессе прессования

Положение частей пресс-формы, имеющей независимый выталкиватель			
Пуансоны		Подвижная (плавающая) матрица или подвижный (плавающий) стержень	Кассета-питатель
верхний	нижний (выталкиватель)		
В крайнем верхнем положении			Над полостью матрицы
Движется вниз или находится в крайнем верхнем положении	Движется вниз	В крайнем верхнем положении	То же
То же	В крайнем нижнем положении	То же	» »
Движется вниз	То же	» »	Отходит под основной бункер
То же	» »	Движется вниз под действием силы трения	То же или находится под основным бункером
В крайнем нижнем положении			Под основным бункером
Движется вверх	В крайнем нижнем положении	Начинает движение вверх или в крайнем нижнем положении	Под основным бункером или начинает движение к матрице
То же или в крайнем верхнем положении	Движется вверх		Движется к матрице
В крайнем верхнем положении			Сталкивает спрессованную деталь и останавливается над матрицей

t_4 — продолжительность выдержки под давлением;

t_5 — промежуток времени от снятия давления до начала выталкивания изделия из полости матрицы;

t_5' — продолжительность времени, необходимого для выхода верхнего пуансона из полости матрицы;

t_5'' — продолжительность отхода верхнего пуансона из зоны действия матрицы;

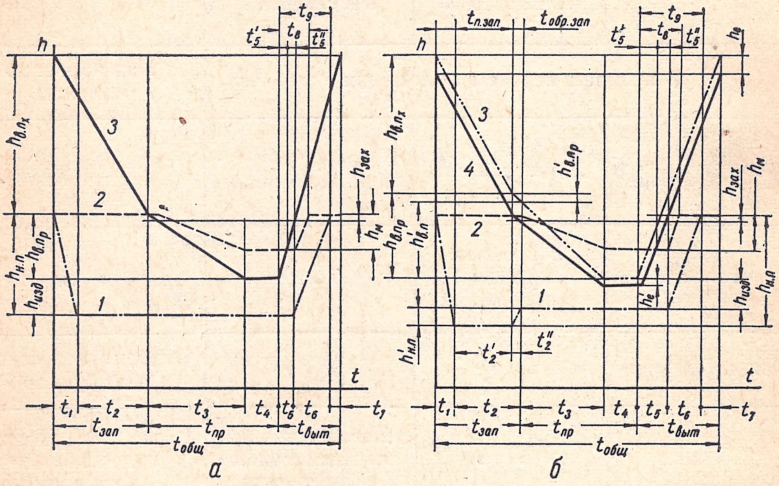


Рис. 64. Графики движения формующих элементов пресс-формы:

а — для пресс-формы по варианту *А*, *1* — движение нижнего пуансона, *2* — движение матрицы, *3* — движение верхнего пуансона; *б* — для пресс-формы по варианту *Б*, *1* — движение нижнего пуансона, *2* — движение матрицы, *3* и *4* — движение составного верхнего пуансона с подвижной подпружиненной частью.

t_6 — продолжительность выталкивания изделия из полости матрицы;

t_7 — продолжительность сталкивания изделия кассетой-питателем со стола пресс-формы;

t_8 — продолжительность времени от момента начала этапа выталкивания до начала выталкивания изделия из полости матрицы;

t_9 — продолжительность выталкивания изделия из формующей полости;

$t_{п.\,зап}$ — промежуток времени прямого заполнения формующей полости;

$t_{обр.\ зап}$ — промежуток времени обратного заполнения, т. е. время перемещения части порошка в полость верхнего пуансона по варианту *Б* (рис. 64, *б*);

$h_{в.\ п_х}$ — путь холостого хода верхнего пуансона;

$h_{в.\ п_р}$ — путь рабочего хода верхнего пуансона;

$h'_{в.\ п}$ — рабочий ход основной части верхнего пуансона в момент уплотнения порошка;

$h'_{в.\ п_р}$ — рабочий ход основной части верхнего пуансона при обратном заполнении;

$h_{н.\ п}$ — путь нижнего пуансона;

$h'_{н.\ п}$ — путь нижнего пуансона при обратном заполнении;

$h_{изд}$ — высота изделия;

$h_м$ — путь матрицы;

$h_{зах}$ — путь верхнего пуансона, совершающего рабочий ход в матрице до преодоления усилия пружин (пневмо- или гидроцилиндров), на которых подвешена матрица или путь до начала движения матрицы;

$h'_е$ — высота элемента изделия, формующегося в полости верхнего пуансона;

$h_е$ — глубина формующей полости верхнего пуансона.

Каждый график на рис. 64 соответствует определенной пресс-форме.

Пресс-форма по варианту *А* (соответствует график рис. 64, *а*) имеет верхний и нижний пуансоны, плавающую матрицу и неподвижный стержень. Подвижные детали пресс-формы, начиная с момента заполнения, перемещаются в следующем порядке. Верхний и нижний пуансоны начинают перемещаться вниз одновременно. Скорость нижнего пуансона выше, чем верхнего, и поэтому процесс заполнения происходит в начале пути верхнего пуансона. Верхний пуансон, имея скорость холостого хода пресса, подходит к матрице, затем ход переключается на рабочий, и пуансон внедряется в формующую полость, уплотняя засыпанный порошок. После незначительного уплотнения порошка, преодолевая сопротивление пружин подвески, матрица под действием силы трения частиц порошка движется вниз. Скорость ее при этом практически равна половине скорости пуансона. После окончания уплотнения порошка производится выдержка под давлением, и верхний пуансон начинает движение вверх. После выхода его из формующей полости начинает движение вверх нижний пуансон. Упираясь в изделие, зажатое между матрицей и стержнем, нижний пуансон сдвигает его по стержню и поднимает матрицу в крайнее верхнее положение. В этот

момент начинается выталкивание изделия из формующей полости матрицы. Выталкиватель независимый.

Пресс-форма по варианту *Б* (соответствует график рис. 64, *б*) работает по схеме, аналогичной варианту *А*, но отличие заключается в том, что верхний пуансон составной и имеет подвижную подпружиненную часть, образующую в пуансоне емкость, формующую верхнюю часть изделия. Нижний пуансон при заполнении отходит ниже положения при прессовании и в момент захода подвижной части верхнего пуансона в матрицу движением вверх перемещает часть порошка в полость верхнего пуансона. Величины холостого хода верхнего пуансона $h_{в.\,п_х}$, его рабочего $h_{в.\,п_р}$ и обратного $h_{в.\,п_{обр}} = h_{в.\,п_р} + h_{в.\,п_х}$, хода нижнего пуансона $h_{н.\,п}$, хода нижнего пуансона вверх для перемещения порошка в полость верхнего пуансона $h'_{н.\,п}$ и хода матрицы $h_м$ определяются из технической характеристики пресса, размеров прессуемого изделия и технической характеристики пресс-формы. Отрезки времени для осуществления этих перемещений должны определяться по формулам, приведенным в табл. 3.

Кроме указанных выше, в табл. 3 применены следующие обозначения:

$v_{в.\,п_х}$ — скорость холостого хода верхнего пуансона;

$v_{в.\,п_р}$ — скорость рабочего хода верхнего пуансона;

$v_{в.\,п_{обр}}$ — скорость обратного хода верхнего пуансона;

$v'_{н.\,п}$ — скорость хода вверх нижнего пуансона без нагрузки;

$v_{н.\,п}$ — скорость хода вверх нижнего пуансона под нагрузкой;

$v_{н.\,п_{обр}}$ — скорость хода вниз (обратного хода) нижнего пуансона.

Производительность Q пресс-формы за один час определяется из соотношения

$$Q = \frac{3600\,n}{t_{общ}} \text{ штук},$$

где n — количество оформляющих гнезд пресс-формы.

На рис. 64 приведены два варианта работы только формующих деталей пресс-формы. Кроме этого, необходимо проследить взаимосвязь этих деталей с другими вспомогательными элементами, например с питателем.

На рис. 65 приведена циклограмма работы автоматической пресс-формы для прессования плоских крупногабаритных изделий типа дисков с отверстиями на неспециализированном прессе. Схема пресс-формы приведена на рис. 27. Пресс-форма снабжена питателем, имеющим автономный привод.

Таблица 3

Расчетные формулы для определения времени перемещения формующих элементов пресс-формы

Определяемая величина, *сек*	Расчетные формулы для	
	варианта *А* (рис. 64, *а*)	варианта *Б* (рис. 64, *б*)
Время передвижения нижнего пуансона от верхнего до нижнего крайнего положения (время прямого заполнения), t_1 ($t_{\text{пр. зап}}$)	$t_1 = \frac{h_{\text{н. п}}}{v_{\text{н. п}_{\text{обр}}}}$	
Отрезок времени от остановки нижнего пуансона до замыкания формующей полости верхним пуансоном, t_2 (t_2')	$t_2 = t_{\text{зап}} - t_1$	$t_2' = t_{\text{зап}} - t_1 - t_2''$
Время передвижения порошка в полость верхнего пуансона (время обратного заполнения), t_2'' ($t_{\text{обр. зап}}$)	—	$t_2'' = \frac{h'_{\text{н. п}}}{v'_{\text{н. п}}}$
Время на операцию заполнения, $t_{\text{зап}}$	$t_{\text{зап}} = t_1 + t_2 = \frac{h_{\text{в. п}_{\text{х}}}}{v_{\text{в. п}_{\text{х}}}}$	$t_{\text{зап}} = t_1 + t_2 = \frac{h_{\text{в. п}_{\text{х}}}}{v_{\text{в. п}_{\text{х}}}} + \frac{h'_{\text{в. п}_{\text{р}}}}{v_{\text{в. п}_{\text{р}}}} = \frac{h_{\text{в. п}_{\text{х}}}}{v_{\text{в. п}_{\text{х}}}} + \frac{h'_{\text{н. п}}}{v_{\text{н. п}}}$
Длительность рабочего хода верхнего пуансона при прессовании, t_3 (H — высота засыпки, $H = h_{\text{н. п}}$)	$t_3 = \frac{h_{\text{в. п}_{\text{р}}}}{v_{\text{в. п}_{\text{р}}}} = \frac{H - h_{\text{изд}}}{v_{\text{в. п}_{\text{р}}}}$	$t_3 = \frac{h_{\text{в. п}_{\text{р}}}}{v_{\text{в. п}_{\text{р}}}} = \frac{H - (h_{\text{изд}} + h'_{\text{н. п}}) + h_{\text{е}}}{v_{\text{в. п}_{\text{р}}}}$
Время выдержки изделия под давлением, t_4	Задается технологическим процессом	
Длительность этапа прессования, $t_{\text{пр}}$	$t_{\text{пр}} = t_3 + t_4$	

Определяемая величина, *сек*	Расчетные формулы для	
	варианта *А* (рис. 64, *а*)	варианта *Б* (рис. 64, *б*)
Время для выхода верхнего пуансона из матрицы, t_5'	$t_5' = \frac{H - (h_{изд} + h_м)}{v_{в.\ п\,обр}}$	$t_5' = \frac{H - (h_{изд} + h_м + h'_{н.\ п}) + h_е}{v_{в.\ п\,обр}}$
Время отхода верхнего пуансона на безопасное расстояние от матрицы (до начала движения нижнего пуансона), t_5''	Принимается из расчета скорости рабочего хода выталкивателя (скорости матрицы при выталкивании) $0 < t_5'' < \frac{h_м + h_{изд}}{v_{в.\ п\,обр}}$	
Время от снятия давления до начала выталкивания, t_5	$t_5 = t_5' + t_5''$	
Продолжительность выталкивания изделия из матрицы, t_6	$t_6 = \frac{h_{н.\ п}}{v_{н.\ п}}$	$t_6 = \frac{h_{н.\ п} - h'_{н.\ п}}{v_{н.\ п}}$
Время подъема матрицы в крайнее верхнее положение, $t_м$	$t_м = \frac{h_м}{v_{н.\ п}}$	
Продолжительность сталкивания изделия кассетой-питателем, t_7	Сталкивание может происходить при остановленном верхнем пуансоне или (чаще всего) в период, когда верхний пуансон, связанный с кассетой-питателем, идет вверх. Продолжительность определяется в первом случае по скорости и пути питателя, во втором — по скорости и пути верхнего пуансона *	
Время выталкивания, $t_{выт}$	$t_{выт} = t_5 + t_6 + t_7$	
Общее время одного цикла прессования	$t_{общ} = t_{зап} + t_{пр} + t_{выт}$	

* В обоих случаях питатель должен подойти к отверстию матрицы после окончания подъема нижнего пуансона, т. е. после полного выталкивания изделия. Если движение привода питателя связано неразрывной кинематической связью с движением верхнего пуансона, величина $t_7 > t_1$; полость питателя должна находиться над матрицей до остановки нижнего пуансона в крайнем нижнем положении.

На верхней части циклограммы (рис. 65) нанесены графики скорости и направления перемещения пуансонов и матрицы, на нижней — скорости и направления перемещения кассеты-питателя.

Обычно для построения циклограммы и удобства пользования ею принимаются перемещения формующих плоскостей пуансонов,

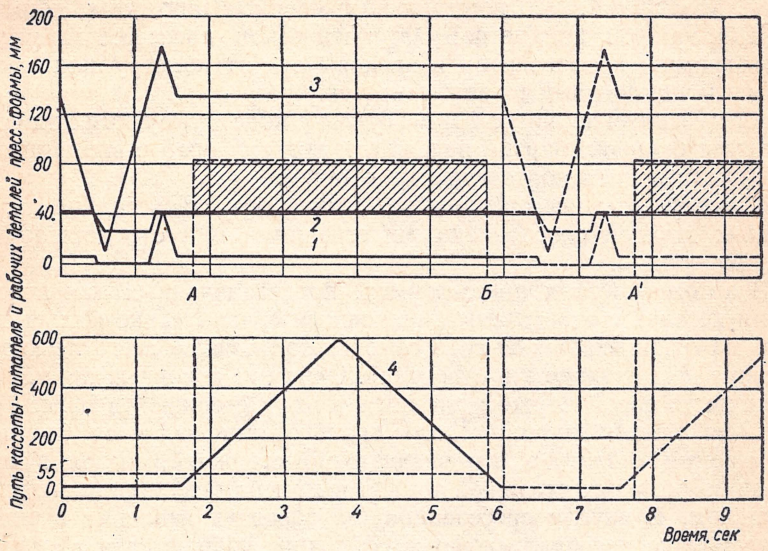


Рис. 65. Циклограмма движения элементов автоматической пресс-формы:

1 — движение нижнего пуансона; *2* — движение матрицы; *3* — движение верхнего пуансона; *4* — движение питателя.

зеркала матрицы или поверхности плиты стола матрицы, верхнего торца подвижных стержней (стержня) и лобовой плоскости питателя.

Заштрихованный на циклограмме прямоугольник отмечает величину зоны, занимаемой питателем во время прохождения его в зоне перемещения рабочих частей пресс-формы (в данном случае верхнего пуансона). Точка *А* соответствует моменту входа питателя в зону действия подвижных частей, точка *Б* — выходу из этой зоны. Высота зоны питателя равна высоте питателя, взятой в масштабе, принятом для циклограммы. В правильно сконструированной пресс-форме линии подвижных частей не должны пересекать зону питателя.

Если кассета-питатель имеет буфер для сталкивания спрессованных изделий, отличающийся по высоте, то это также должно

найти отражение в циклограмме. В этом случае заштрихованная зона может, например, принять вид трапеции.

При построении графика движения верхнего пуансона следует учитывать размеры накладки крепления пуансона, выступающих деталей плиты и т. д. В некоторых случаях необходимо проводить несколько линий, соответствующих перемещению этих деталей.

Для каждой конкретной автоматической пресс-формы расчет циклограммы производится в зависимости от конструкции пресс-формы и циклограммы работы пресса.

Автоматические пресс-формы обычно конструируются для изготовления больших партий изделий, и поэтому особое внимание необходимо уделять долговечности деталей.

Схема работы пресс-формы не должна допускать сильно нагруженных деталей с ослабленными сечениями или с недостаточной их прочностью.

В автоматических пресс-формах, предназначенных для прессования деталей с отверстиями, имеющими сравнительно малый диаметр по отношению к высоте самой детали, чаще всего ломаются стержни, формующие эти отверстия. Одним из основных принципов увеличения срока службы длинных тонких стержней в пресс-формах для металлокерамического производства является принцип применения «ложных» (замещающихся) стержней, выполняющих функцию обычных стержней только в момент заполнения матрицы порошком. В начале прессования (до передачи давления верхним пуансоном на порошок) «ложные» стержни убираются и в полость матрицы вводятся рабочие стержни, укрепленные на верхней траверсе. Этот способ позволяет почти в 2 раза уменьшить длину формующего стержня и, следовательно, повысить его стойкость.

В некоторых типах пресс-форм (см. рис. 37) могут применяться полунагруженные нижние стержни, которые выводятся из формуемой детали к концу процесса прессования, и процесс заканчивается только при участии верхнего рабочего стержня. В таких конструкциях необходима точная подгонка торцевых контактирующих друг с другом плоскостей стержней.

ВЫБОР ПРЕССА ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ В ЗАКРЫТЫХ ПРЕСС-ФОРМАХ

При выборе типа пресса для холодного прессования в закрытых пресс-формах необходимо руководствоваться размерами деталей, сложностью их формы, отношением высоты детали к диаметру, объемом производства и другими соображениями.

Мощность пресса выбирают на основании усилия P, необходимого для прессования данной детали,

$$P = pS, \tag{16}$$

где p — давление прессования для данной детали, $Мн/м^2$ (или $дан/см^2$);

S — площадь проекции данной детали на горизонтальную плоскость, $м^2$ (или $см^2$).

При этом усилие пресса $P_{пр}$ должно быть больше усилия прессования P:

$$P_{пр} = k_{зап}P, \tag{17}$$

где $k_{зап} = 1{,}25 \div 1{,}3$ — коэффициент запаса.

Одновременно необходимо проверить возможность выпрессовки детали выталкивателем пресса. Усилие выталкивателя $P_{выт}$ должно быть больше усилия $P_{вып}$, необходимого для выпрессовки изделия.

Максимальная высота изделия, которое может быть спрессовано на данном прессе, зависит от величины хода пуансона и расстояния между столом и ползуном.

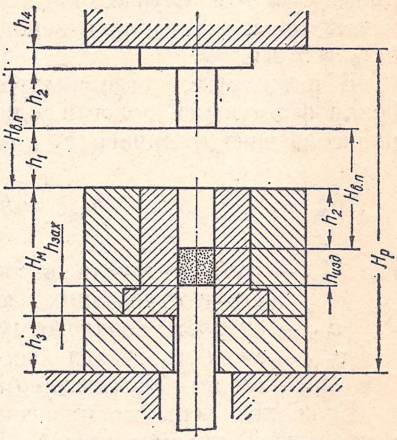


Рис. 66. Схема к расчету выбора пресса для холодного прессования в закрытых пресс-формах.

Ход верхнего пуансона $H_{в.п}$ (рис. 66) состоит из расстояния h_1 от нижнего торца верхнего пуансона до верхнего торца матрицы и величины h_2 пути прессования:

$$H_{в.п} = h_1 + h_2; \tag{18}$$

$$h_2 = h_{изд}\left(\frac{\gamma_п}{\gamma_н} - 1\right) = h_{изд}(k - 1). \tag{19}$$

Расстояние h_1 зависит от принятого метода засыпки шихты в формующую полость пресс-формы. Для стационарных пресс-форм при весовой и объемной дозировке, производимой вне пресса, это расстояние должно обеспечивать возможность удобной засыпки порции шихты в полость матрицы. В этом случае величина h_1 зависит от устройства, предназначенного для транспортировки шихты от места дозировки до формующей полости. Обычно эта величина составляет не менее 40 *мм*.

При объемной дозировке с помощью кассеты-питателя это расстояние принимается

$$h_1 = h_к + h_{х.\,б}, \tag{20}$$

где $h_к$ — высота кассеты-питателя;

$h_{х.\,б}$ — ход, обеспечивающий безопасность верхнего пуансона.

Величина хода $h_{х.\,б}$ зависит от схемы работы пресс-формы. Например, в том случае, когда питатель перемещается для заполнения пресс-формы при неподвижном ползуне пресса, величина $h_{х.\,б} \geqslant 5$ *мм*.

В том случае, когда питатель начинает движение после заполнения формующей полости одновременно с началом хода верхнего пуансона вниз, величина $h_{х.\,б}$ определяется по формуле

$$h_{х.\,б} = h'_{пит} \frac{v_{пр}}{v_{пит}} + h_г, \tag{21}$$

где $h'_{пит}$ — путь питателя в зоне действия верхнего пуансона или его выступающих частей;

$v_{пр}$ — скорость верхнего пуансона;

$v_{пит}$ — скорость отхода кассеты-питателя под бункер;

$h_г$ — гарантийный зазор (принимается 2—5 *мм*).

Если ход верхнего пуансона связан с ходом кассеты-питателя непрерывной кинематической связью, то формула (21) примет вид

$$h_{х.\,б} = \frac{h'_{пит}}{n} + h_г, \tag{22}$$

где $n = \frac{v_{пит}}{v_{пр}}$ — передаточное число кинематической связи.

Высота кассеты-питателя $h_к$ при расширении ее полости в виде конуса обычно составляет $0{,}8H$, а при цилиндрической полости — $1{,}1H$, где H — высота слоя засыпанной в матрицу шихты.

Таким образом, значение H в случае применения питателя с конусной полостью, т. е. при

$$h_к = 0{,}8\ H = 0{,}8 \frac{\gamma_п}{\gamma_н} h_{изд} = 0{,}8k h_{изд},$$

примет вид

$$H_{в.п} = h_к + h_{х.б} + h_{изд}(k - 1) = 0{,}8k h_{изд} + h_{х.б} + h_{изд}(k - 1)$$

или

$$H_{в.п} = h_{изд}(1{,}8k - 1) + h_{х.б}. \tag{23}$$

И соответственно при $h_к = 1{,}1H = 1{,}1kh_{изд}$ получим

$$H_{в.п} = h_{изд}(2{,}1k - 1) + h_{х.б}. \quad (24)$$

С другой стороны, расстояние между столом пресса в нижнем положении и ползуном в верхнем положении $H_р$ (рис. 66), необходимое для монтажа пресс-формы при прессовании изделия с высотой $h_{изд}$, можно определить как

$$H_р = H_м + H_{в.п} + (h_3 + h_4), \quad (25)$$

где h_3 и h_4 — толщина плит верхнего пуансона и матрицы.

С достаточным приближением толщину плит h_3 и h_4 можно выбрать из ГОСТ 7254—54. Обозначим величину $h_3 + h_4 = A$. Подставив значение слагаемых в формулу (25), получим величину $H_р$ для пресс-форм с конусным питателем:

$$H_р = kh_{изд} + h_{зах} + h_{изд}(1{,}8k - 1) + h_{х.б} + A$$

или

$$H_р = h_{изд}(2{,}8k - 1) + h_{зах} + h_{х.б} + A, \quad (26)$$

для пресс-форм с цилиндрическим питателем

$$H_р = h_{изд}(3{,}1k - 1) + h_{зах} + h_{х.б} + A, \quad (27)$$

где $h_{зах}$ — высота захода в матрицу нижнего пуансона.

В данном расчете коэффициент k принимается по минимальному $\gamma_{н_{мин}}$ насыпному весу порошка, из которого будет прессоваться изделие, т. е.

$$k = \frac{\gamma_п}{\gamma_{н_{мин}}}.$$

Открытая высота пресса $H_{пр}$ должна быть несколько больше расчетной величины $H_р$ или в крайнем случае равна ей, т. е. $H_{пр} \geqslant H_р$.

Высота изделия связана с ходом выталкивателя пресса $H_{выт}$ следующей зависимостью: $H_{выт} \geqslant kh_{изд}$.

Выбор типа пресса для прессования данного изделия производится на основании величин P, $P_{выт}$, $H_{в.п}$, $H_р$, $H_{выт}$, рассчитанных, исходя из размеров изделия.

Пресс, удовлетворяющий описанным выше условиям, может быть использован для прессования данного изделия.

Выбор конструкции пресса и его производительность целиком зависят от конструкции изделия, требований к ее изготовлению и объема производства. Только после оценки этих факторов может быть окончательно сделан выбор пресса.

РАСЧЕТ ПРЕСС-ФОРМ

Расчет пресс-форм включает определение технологических размеров матрицы и стержня и проверку на прочность деталей, воспринимающих нагрузки.

Прежде чем приступить к расчету, следует определить размеры изготовляемой металлокерамической детали после каждой операции технологического процесса. Для этого нужно знать величины упругого расширения после прессования и усадки при спекании по этим размерам. Кроме того, в зависимости от требований, предъявляемых к детали, и класса точности определяют технологический процесс ее изготовления, т. е. потребность в допрессовке, калибровке и других операциях, влияющих на размеры спрессованной детали. Исходя из всех этих данных, вычерчивают спрессованную деталь и проектируют пресс-форму.

После решения всех перечисленных выше вопросов можно приступить к расчету технологических размеров пресс-формы.

РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ПРЕСС-ФОРМ

Исходными данными для расчета размеров пресс-формы являются следующие величины:

1) размеры готового изделия (высота h, поперечный размер D, размер отверстия d) и допуски на них;

2) плотность готового изделия и ее пределы (нижний γ_1, верхний γ_2);

3) упругие последействия по линейным размерам после прессования в процентах $\alpha_п$ или в абсолютной величине $l_п$;

4) объемная усадка (или рост) при спекании в процентах δ;

5) усадка (или рост) по линейным размерам при спекании в процентах β или в абсолютной величине ε;

6) увеличение (или уменьшение) площади поперечного сечения при спекании в процентах x;

7) припуск (положительный или отрицательный) на калибрование линейных размеров $П_к$;

8) упругие последействия по линейным размерам после калибрования (или допрессовки) в процентах $\alpha_к$ или в абсолютных единицах $l_к$;

9) увеличение (или уменьшение) площади поперечного сечения после калибрования (или допрессовки) в процентах y;

10) прирост плотности при калибровании (или допрессовке) спеченного изделия в процентах τ;

11) уменьшение веса изделия при спекании за счет выгорания смазок, восстановления окислов и пр. в процентах ξ.

Вышеперечисленные величины определяются опытным путем или выбираются по таблицам.

Отметим, что положительным называется такой припуск на калибрование, при котором площадь поперечного сечения изделия больше площади поперечного сечения калибрующей полости пресс-формы ($S_{изд} > S_{пр}$). При калибровании с положительным припуском изделие обжимается стенками матрицы и, если калибруются отверстия, стержнем.

Отрицательным называется такой припуск, при котором площадь поперечного сечения калибруемого изделия меньше площади поперечного сечения полости пресс-формы ($S_{изд} < S_{пр}$). При калибровании с отрицательным припуском изделие помещается в калибрующую полость с некоторым зазором и обжимается по высоте пуансонами.

Для расчета размеров изделия, а следовательно, и пресс-формы обычно требуется знать величины упругих последействий и усадки (или роста) в абсолютном значении. Если эти величины заданы в процентах, то пересчет ведется по формулам

$$l_п = \frac{\alpha_п A}{100}; \tag{28}$$

$$l_к = \frac{\alpha_к A}{100}; \tag{29}$$

$$\varepsilon = \frac{\beta A}{100}, \tag{30}$$

где A — размер изделия в *мм*, для которого заданы $\alpha_п$, $\alpha_к$, β.

Определение высоты загрузочной камеры. Загрузочной камерой называется часть матрицы, которая заполняется порошком. Ее высота H определяется по формуле

$$H = kh_{пр}, \tag{31}$$

где k — коэффициент обжатия;

$h_{пр}$ — высота спрессованного изделия.

Величину k можно определить из уравнения

$$k = \frac{\gamma_{пр.ср}}{\gamma_н}, \tag{32}$$

где $\gamma_{пр.ср}$ — средняя плотность спрессованного изделия;

$\gamma_н$ — насыпной вес шихты.

Таблица 4

Формулы к расчету высоты спрессованного изделия

Определяемая величина	Формула
Пределы веса готового изделия: нижний G_1 верхний G_2	$G_1 = \gamma_1 V$ *г* $G_2 = \gamma_2 V$ *г*
Плотность изделия после спекания $\gamma_{сп.ср}$	$\gamma_{1сп} = \gamma_1 - \frac{\tau\gamma_1}{100}$ *г/см³*; $\gamma_{2сп} = \gamma_2 - \frac{\tau\gamma_2}{100}$ *г/см³*; $\gamma_{сп.ср} = \frac{\gamma_{1сп} + \gamma_{2сп}}{2}$ *г/см³*
Объем изделия после спекания $V_{сп}$	$V_{сп} = V + \frac{\tau V}{100}$ *см³*
Высота изделия после спекания $h_{сп}$: при калибровании с положительным припуском	$h_{сп} = h \cdot \frac{100 - y}{100} \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_{1сп}}$ *мм*
при калибровании с отрицательным припуском	$h_{сп} = h \cdot \frac{100 + y}{100} \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_{1сп}}$ *мм*
Пределы веса спрессованного изделия: нижний g_1	$g_1 = G_1 + \frac{\xi G_1}{100}$ *г*
верхний g_2	$g_2 = G_2 + \frac{\xi G_2}{100}$ *г*
Объем спрессованного изделия $V_{пр}$	$V_{пр} = V_{сп} \pm \frac{\delta V_{сп}}{100}$ *см³*
Плотность спрессованного изделия $\gamma_{пр.ср}$	$\gamma_{1пр} = \frac{g_1}{V_{пр}}$ *г/см³*; $\gamma_{2пр} = \frac{g_2}{V_{пр}}$ *г/см³*; $\gamma_{пр.ср} = \frac{\gamma_{1пр} + \gamma_{2пр}}{2}$ *г/см³*
Высота прессовки $h_{пр}$: в случае роста при спекании	$h_{пр} = h_{сп} \cdot \frac{100 - x}{100} \cdot \frac{100 + \xi}{100} \cdot \frac{\gamma_{сп.ср}}{\gamma_{пр.ср}}$ *мм*
в случае усадки при спекании	$h_{пр} = h_{сп} \cdot \frac{100 + x}{100} \cdot \frac{100 + \xi}{100} \cdot \frac{\gamma_{сп.ср}}{\gamma_{пр.ср}}$ *мм*

Величина $\gamma_{пр.ср}$ определяется расчетным путем (табл. 4) или экспериментально.

Если известна пористость изделия θ, %, то пересчет ведется по формуле

$$\gamma_{пр} = \gamma_к \left(1 - \frac{\theta}{100}\right), \qquad (33)$$

где $\gamma_к$ — удельный вес компактного материала.

Расчет высоты прессовки $h_{пр}$, если заданы конечные размеры готового изделия (т. е. известен его объем V) и пределы его плотности (нижний γ_1 и верхний γ_2), ведется по схеме, представленной в табл. 4.

При прессовании изделий, имеющих переходы по высоте, величина слоя засыпанного порошка определяется для каждого из участков прессовки.

Определение общей высоты матрицы. Общая высота матрицы $H_м$ определяется по формуле

$$H_м = H + h_в + h_н, \qquad (34)$$

где $h_в$ — величина захода в матрицу верхнего пуансона;

$h_н$ — величина захода в матрицу нижнего пуансона.

В стационарных пресс-формах, где матрица служит дозирующим устройством, иногда нет необходимости предусматривать величины $h_в$ и $h_н$. Для матрицы, показанной на рис. 67, $H_м = H$.

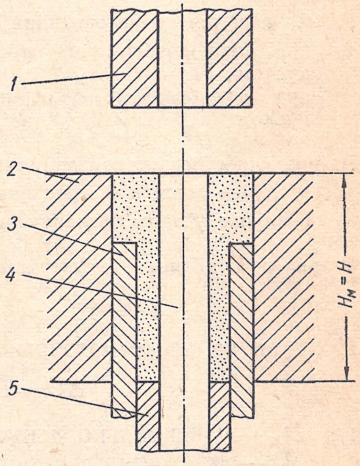


Рис. 67. Схема к определению высоты матрицы:
1, 3, 5 — пуансоны; *2* — матрица; *4* — стержень.

Расчет размеров рабочей полости матрицы. Размеры рабочей полости матрицы зависят от наружных размеров изделия, изменения размеров в процессе изготовления (упругие последействия, рост или усадка при спекании) и принимаются минимально возможными, чтобы обеспечить наибольший припуск на износ матрицы.

Если задан конечный размер изделия с допусками $D^{+в.п}_{+н.п}$, то определение размеров рабочей полости матрицы ведется в последовательности, приведенной в табл. 5.

Таким образом, номинальный размер полости матрицы

$$D_м = D_{мин} - l_п \pm \varepsilon \pm П_к - l_к. \qquad (35)$$

Таблица 5

Последовательность определения размеров рабочей полости матрицы

Определяемая величина	Формула
Минимальный размер изделия $D_{мин}$ после калибрования (намечается конструктором)	$D_{мин} = D + Н.П$
Размер рабочей полости калибрующей матрицы $D_к$	$D_к = D_{мин} - l_к$
Размер изделия после спекания $D_{сп}$:	
при калибровании с положительным припуском	$D_{сп} = D_к + П_к$
при калибровании с отрицательным припуском	$D_{сп} = D_к - П_к$
Размер спрессованного изделия $D_{пр}$:	
в случае роста при спекании	$D_{пр} = D_{сп} - \varepsilon$
в случае усадки при спекании	$D_{пр} = D_{сп} + \varepsilon$
Размер рабочей полости матрицы $D_м$	$D_м = D_{пр} - l_п$

Припуск на износ матрицы

$$\Delta D = D'_м - D_м - A_м, \qquad (36)$$

где $D'_м$ — максимально допустимый размер отверстия матрицы;

$A_м$ — действительный допуск отверстия матрицы при ее изготовлении.

Размер $D'_м$ определяется из выражения

$$D'_м = D_{макс} - l_п \pm \varepsilon \pm П_к - l_к. \qquad (37)$$

Определение размеров стержня. Размеры стержня зависят от размера формуемого отверстия изделия, изменения размера в процессе изготовления (упругие последействия, рост или усадка при спекании) и принимаются максимально возможными, чтобы обеспечить наибольший припуск на износ стержня.

Если задан конечный размер отверстия с допусками $d^{+В.П}_{+Н.П}$, то определение размеров стержня ведется в последовательности, представленной в табл. 6.

Таким образом, номинальный размер рабочей части стержня

$$d_{ст} = d_{макс} \pm l_п \pm \varepsilon \pm П_к \pm l_к. \qquad (38)$$

Таблица 6

Последовательность определения размеров стержня

Определяемая величина	Формула
Максимальный размер отверстия $d_{макс}$ после калибрования (намечается конструктором)	$d_{макс} = d + В.П$
Размер калибрующего стержня $d_к$:	
в случае увеличения отверстия в результате упругих последействий	$d_к = d_{макс} - l_к$
в случае уменьшения отверстия в результате упругих последействий	$d_к = d_{макс} + l_к$
Размер отверстия после спекания $d_{сп}$:	
при калибровании с положительным припуском	$d_{сп} = d_к - П_к$
при калибровании с отрицательным припуском	$d_{сп} = d_к + П_к$
Размер отверстия после прессования $d_{пр}$:	
в случае увеличения размера при спекании	$d_{пр} = d_{сп} - \varepsilon$
в случае уменьшения размера при спекании	$d_{пр} = d_{сп} + \varepsilon$
Рабочий размер стержня $d_{ст}$:	
в случае увеличения отверстия в результате упругих последействий	$d_{ст} = d_{пр} - l_п$
в случае уменьшения отверстия в результате упругих последействий	$d_{ст} = d_{пр} + l_п$

Припуск на износ стержня

$$\Delta d = d_{ст} - d'_{ст} - A_{ст}, \qquad (39)$$

где $d'_{ст}$ — минимально допустимый размер стержня;

$A_{ст}$ — действительный допуск стержня при его изготовлении в абсолютном значении.

Размер $d'_{ст}$ определяется по формуле

$$d'_{ст} = d_{мин} \pm l_п \pm \varepsilon \pm П_к \pm l_к. \qquad (40)$$

При проектировании пресс-форм для изделий со свободными размерами, допуски на которые обычно выбираются по 7 классу точности, расчет технологических размеров матрицы и стержня не производится, так как поле допуска значительно превышает суммарное изменение размеров изделия в результате упругого расширения после выталкивания и усадки при спекании (рис. 68). Величины $D_м$ и $d_{ст}$ принимаются равными номинальным размерам готового изделия.

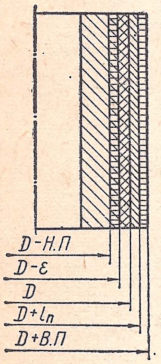


Рис. 68. Схематическое изображение поля допуска на размер изделия и изменения размера изделия на разных стадиях его обработки.

Расчет технологических размеров не проводится также при проектировании пресс-форм для прессования изделий с припусками на механическую обработку. В этом случае $D_м$ и $d_{ст}$ принимаются равными номинальным размерам готового изделия с учетом выбранного припуска.

РАСЧЕТ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ НА ПРОЧНОСТЬ

Размеры таких деталей пресс-форм, как пуансоны, подставки, упоры и т. п., обусловливаются величиной осевого давления, а толщина стенок матрицы — величиной бокового давления прессования.

Поэтому сначала укажем на методы определения осевого (в дальнейшем будем называть его просто давлением прессования) и бокового давлений прессования.

Давление прессования. Полное давление прессования складывается из затрат давления на уплотнение порошка и потерь давления на внешнее трение частиц о стенки матрицы.

Для определения части давления, идущей на уплотнение порошка, можно воспользоваться формулами Ждановича [12], Николаева [17] или Кунина и Юрченко [15].

Формула Ждановича представляет собой зависимость между степенью уплотнения брикета и давлением прессования с учетом влияния упрочнения частиц (без внешнего трения):

$$p = p_к \frac{\left(\frac{h_0}{h}\right)^n - 1}{\left(\frac{\gamma_м}{\gamma_0}\right)^n - 1}, \qquad (41)$$

где $p_к$ — величина критического давления прессования, соответствующая стопроцентной плотности прессовки, равная давлению истечения максимально упрочненного металла; для данного металла величина $p_к \approx \text{const}$; значения ее для некоторых металлов приведены ниже;

h_0 и γ_0 — высота и плотность порошка перед прессованием;

h — высота брикета при p;

$\gamma_м$ — плотность металла;

n — показатель степени; для ряда металлов (железо, медь, никель, кобальт, олово, свинец) $n \approx 4$.

Значения давления истечения следующие:

Металл	$p_к$, *дан/мм²*
Свинец	10
Олово	14
Алюминий	42
Серебро	76
Золото	80
Медь	92 — 109
Мягкое железо	126 — 133
Сталь с 0,28% С	180 — 195
Вольфрам	400

Формула Николаева, выведенная на основе предположения, что при достаточно больших давлениях формование прессовки происходит за счет истечения частиц в поры, имеет вид

$$p = \sigma_s C \rho \ln \frac{\rho}{1 - \rho}, \qquad (42)$$

где σ_s — предел текучести металлических порошков; значения его приведены ниже;

ρ — относительная плотность;

$C = 2{,}5 \div 3$ — постоянный коэффициент.

Значения предела текучести металлических порошков следующие:

Порошок	σ_s, *дан/мм²*
Железный	20
Алюминиевый	3,5
Стальной	40
Медный	8

Для практических целей используют заранее вычисленную функцию (табл. 7)

$$u = \rho \ln \frac{\rho}{1-\rho}. \qquad (43)$$

Таблица 7

Значения функции $\rho \ln \frac{\rho}{1-\rho}$

ρ	$\rho \ln \frac{\rho}{1-\rho}$	$\zeta\rho \ln \frac{\rho}{1-\rho}$ при		ρ	$\rho \ln \frac{\rho}{1-\rho}$	$\zeta\rho \ln \frac{\rho}{1-\rho}$ при	
		$\zeta=2{,}5$	$\zeta=3$			$\zeta=2{,}5$	$\zeta=3$
0,55	0,109	0,273	0,327	0,82	1,25	3,13	3,75
0,58	0,186	0,465	0,558	0,84	1,38	3,45	4,12
0,60	0,243	0,608	0,730	0,86	1,56	3,90	4,68
0,62	0,304	0,761	0,912	0,88	1,75	4,38	5,25
0,64	0,371	0,929	1,11	0,90	1,98	4,95	5,95
0,66	0,435	1,09	1,31	0,92	2,16	5,40	6,48
0,68	0,504	1,26	1,51	0,94	2,59	6,49	7,78
0,70	0,595	1,49	1,78	0,96	3,04	7,60	9,14
0,72	0,676	1,69	2,07	0,98	3,79	9,50	11,40
0,74	0,777	1,94	2,37	0,99	4,55	11,80	13,60
0,76	0,875	2,19	2,62	0,995	5,27	13,20	15,80
0,78	0,983	2,46	2,95	0,999	6,90	17,20	20,70
0,80	1,11	2,78	3,33	0,9995	7,60	19,00	22,80

Расчетные данные по формуле Николаева хорошо совпадают с опытными. Этой формулой можно пользоваться только для вычисления давления, необходимого для достижения плотности, большей 0,5 (50%) так как при $\rho = 0{,}5$ $u = 0$. Однако по данной формуле нельзя рассчитать давление, необходимое для достижения стопроцентной плотности, так как при $\rho \to 1$ $u \to \infty$.

На основании математической обработки большого числа экспериментальных данных в работе [15] дана формула, позволяющая с высокой точностью определять давление прессования в зависимости от плотности брикета в области пластического прессования.

Уравнение пластического прессования порошкообразных тел имеет вид

$$\gamma = \gamma_{пр} - \frac{k}{\alpha}, \tag{44}$$

где $\gamma_{пр}$ — условная предельная плотность при бесконечно большом давлении прессования;

k — коэффициент прессования, зависящий от давления; значение k выражается экспоненциальной функцией (по опытным данным)

$$k = k_0 e^{-\alpha p}, \tag{45}$$

где k_0 — начальный коэффициент прессования (при $p = 0$);

α — коэффициент потери сжимаемости, характеризующий относительное уменьшение коэффициента прессования при изменении давления на единицу.

Из выражений (44) и (45) получим

$$\gamma = \gamma_{пр} - \frac{k_0}{\alpha} e^{-\alpha p}. \tag{46}$$

Значения $\gamma_{пр}$, k_0 и α приведены в табл. 8.

Таблица 8

Значения $\gamma_{пр}$, k_0 и α для различных материалов

Определяемая величина	Материал						
	Висмут	Кадмий	Медь	Олово	Цинк	Железо	Алюминий (пудра)
$\gamma_{пр}$, $г/см^3$	10,24	9,18	9,38	8,04	8,27	8,0	3,17
k_0, $\frac{г}{дан \cdot см} \cdot 10^4$	3,467	27,54	19,05	12,74	20,18	16,22	7,074
α, $\frac{см^2}{дан} \cdot 10^4$	7,25	6,15	3,48	4,15	4,085	3,44	2,77

Потеря давления на внешнее трение определяется формулой

$$p_{тр} = f p_б \frac{S_т}{S}, \tag{47}$$

где f — коэффициент трения порошка о стенки матрицы;

$p_б$ — боковое давление;

$S_т$ — площадь поверхности трения;

S — площадь поперечного сечения изделия.

Величина коэффициента трения f для «сухих» металлических порошков без специальных добавок колеблется от 0,06 до 0,20 [4]. Добавки графита значительно снижают потери на трение. Введение в шихту 3% графита снижает коэффициент трения в 2—3 раза. Использование смазывающих веществ (стеариновая кислота, масло, глицерин) снижает коэффициент трения в 1,5—5 раз.

Осевое усилие прессования определяется по формуле

$$P = (p + p_{тр})\,S. \qquad (48)$$

Расчет $p_{тр}$ по формуле [47] во многих случаях затруднен из-за отсутствия достоверных данных о коэффициенте трения и боковом давлении. Поэтому осевое усилие прессования подсчитывают вначале без учета потерь на трение, т. е. по формуле

$$P = pS, \qquad (49)$$

а затем полученное значение увеличивают на 25—30%. Так как на практике всегда стремятся потери давления на внешнее трение свести к минимуму, поэтому такое увеличение усилия прессования будет вполне достаточным, чтобы рассчитать детали пресс-форм с необходимым запасом прочности.

Боковое давление. Величина бокового давления зависит от материала прессуемого порошка и от плотности изделия. Для железного порошка боковое давление можно подсчитать по формуле [27]

$$p_б = C\gamma^m, \qquad (50)$$

где $C = 0{,}00725$ и $m = 6{,}8$ — постоянные величины.

Формула (50) пригодна для прессования железного порошка в области давлений от 1500 до 9000 *дан/см*^{2}.

Для других порошков зависимостей по определению величины бокового давления нет. В связи с этим при расчете матриц значение $p_б$ следует принимать равным величине давления прессования, что обеспечит некоторый запас прочности.

Расчет матриц. Формулы для расчета матриц, приведенные в работах [4, 18, 31], не пригодны для использования. В результате анализа этих формул, проведенного в работе [6], делается вывод, что условие прочности сплошной матрицы при обычно применяющихся давлениях прессования (до 7000—8000 *дан/см*^{2}) соблюдается, если отношение a наружного радиуса матрицы $r_н$ к внутреннему $r_в$ выбирается в пределах 1,16—1,35. Однако такие значения a являются заниженными, что подтверждается следующим выводом.

Матрица представляет собой цилиндр, нагруженный внутренним давлением на части его длины. Будем считать, что давление распределяется равномерно, а материал матрицы одинаково работает как на растяжение, так и на сжатие.

Для детали, находящейся в двухосном напряженном состоянии, по теории наибольших касательных напряжений эквивалентное напряжение

$$\sigma_{экв} = \sigma_1 - \sigma_3. \tag{51}$$

В нашем случае $\sigma_1 = \sigma_\tau$, $\sigma_3 = \sigma_r$,

где σ_τ и σ_r — соответственно касательное и нормальное напряжение.

Для вычисления σ_r и σ_τ воспользуемся формулами Ляме, хотя они и выведены из предположения, что внутреннее давление распределено равномерно по всей длине цилиндра. Действительные напряжения и деформации поперечных слоев матрицы при прессовании порошков будут несколько меньше расчетных, так как давление прикладывается только на части длины. Согласно формулам Ляме [20] наибольшие напряжения имеют место у внутренней поверхности

$$\sigma_r = -p_б; \tag{52}$$

$$\sigma_\tau = p_б \frac{a^2 + 1}{a^2 - 1}, \tag{53}$$

где $p_б$ — боковое давление на стенку матрицы;

$a = \frac{r_н}{r_в}$;

$r_н$ — наружный радиус матрицы:

$r_в$ — внутренний радиус матрицы.

Подставив значение σ_τ и σ_r в формулу (51), получим

$$\sigma_{экв} = p_б \left(\frac{a^2 + 1}{a^2 - 1} + 1 \right). \tag{54}$$

Условие прочности определяется зависимостью

$$\sigma_{экв} \leqslant [\sigma_р], \tag{55}$$

где $[\sigma_р]$ — допустимое напряжение на разрыв для материала матрицы; для сталей, из которых обычно изготовляются матрицы, $[\sigma_р] = 10\,000 \div 15\,000$ *дан/см²*.

Определим, например, отношение a для матрицы, в которой необходимо спрессовать изделие из железного порошка с относительной плотностью 90% или $\gamma \cong 7{,}1$ *г/см³*.

Согласно формуле (50) боковое давление составит $p_б = 4564$ *дан/см²*.

Из формул (54) и (55) следует, что

$$a = \sqrt{\frac{[\sigma_р]}{[\sigma_р] - 2p_б}}. \tag{56}$$

Подставляя $[\sigma_р] = 10\,000$ *дан/см²* и $p_б = 4564$ *дан/см²*, получим $a = 3{,}4$. Полученный результат значительно отличается от данных работ [1,18] и др.

Сплошные матрицы, рассчитанные на прочность по формуле (56), при приложении давления прессования сильно деформируются. Отсутствие жесткости у матрицы сказывается на ее усталостной прочности при длительной непрерывной работе. Казалось бы, жесткость можно обеспечить простым увеличением значения a. Однако из формулы для радиальных деформаций внутренней поверхности цилиндрической сплошной матрицы

$$\Delta r_в = \frac{p_б r_в}{E}\left(\frac{a^2+1}{a^2-1} + \mu\right), \tag{57}$$

где μ — коэффициент Пуассона, видно, что $\Delta r_в$ не может быть получено меньше определенной величины, как бы ни изменились размеры матрицы. Действительно, даже при $a \to \infty$, значение радиальной деформации в наиболее напряженных точках внутренней поверхности стремится к вполне определенному значению $\Delta r_в = \frac{p_б r_в}{E}(1+\mu)$. То же самое можно сказать и о напряжениях, развивающихся на внутренней поверхности. Из формулы (54) видно, что при $a \to \infty$ $\sigma_{экв} = 2p_б$.

Таким образом, даже если руководствоваться условием, что эквивалентное напряжение не должно достигать предела текучести, т. е. $\sigma_{экв} < \sigma_S$, невозможно изготовить цилиндрическую матрицу на давление, большее чем $\frac{\sigma_S}{2}$ при любой толщине ее стенок. Причина этого заключается в том, что в толстостенных матрицах, нагруженных внутренним давлением, напряжения σ_r и σ_τ очень быстро затухают с удалением от внутренней поверхности цилиндра, где они являются наибольшими, а наружные слои материала являются малоактивными. Поэтому утолщение стенок матрицы не сопровождается пропорциональным увеличением ее прочности, а следовательно, и жесткости.

Для увеличения жесткости и прочности применяются составные матрицы, собранные из двух частей — обоймы и внутренней гильзы, скрепленных за счет натяга (горячей или прессовой посадки).

После сборки в матрице возникают окружные напряжения, которые в гильзе являются напряжениями сжатия, а в обойме — растяжения. Если теперь в матрице начать прессовать порошок, т. е. подвергнуть ее боковому давлению, то в ее кольцевых волокнах возникнут новые напряжения растяжения, причем в обойме они будут складываться с начальными напряжениями, вызванными посадкой, а в гильзе — вычитаться из них. Таким образом, удается разгрузить внутренние волокна матрицы за счет более интенсивного использования наружных.

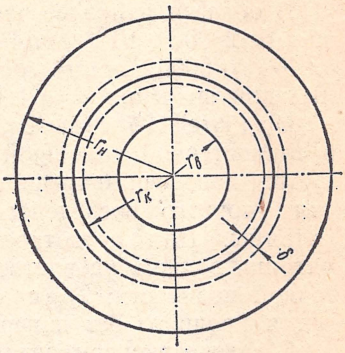


Рис. 69. Схема к определению радиуса контактной поверхности составной цилиндрической матрицы.

Размеры составной матрицы подбираются из условия равнопрочности гильзы и обоймы, изготовленных из материала, одинаково работающего на растяжение и сжатие. При этом условии напряжения в опасной точке внутренней гильзы, нагруженной изнутри давлением $p_б$ [20],

$$\sigma_r = -p_б; \tag{58}$$

$$\sigma_т = \frac{p_б}{a-1}; \tag{59}$$

$$\sigma_{экв} = \frac{a}{a-1} p_б. \tag{60}$$

При выводе этих формул из условия минимального эквивалентного напряжения на внутренней поверхности значение радиуса контактной поверхности (рис. 69) принято

$$r_к = \sqrt{r_н r_в}. \tag{61}$$

Величина контактного давления, возникающего при посадке, определяется по формуле

$$p_к = p_б \frac{a-1}{2(a+1)}. \tag{62}$$

Соответствующая величина натяга

$$\delta = \frac{p_б}{E} \cdot 2r_к, \tag{63}$$

где E — модуль упругости; для стальных матриц $E = 2{,}15 \cdot 10^6$ *дан/см*^{2}.

В области наиболее часто применяющихся давлений прессования (от 2000 до 10 000 *дан/см*^{2}), когда боковое давление изменяется от 400 до 5000 *дан/см*^{2}, составные матрицы удовлетворяют условию (61) при значении $a = 1{,}1 \div 2$.

В работе [1] отмечается, что при прессовании железного порошка в тонкостенной сплошной матрице с $a = 1{,}6$ на брикетах образуются поперечные трещины, обусловленные совместным действием сил упругого последействия прессовки и упругой деформации матрицы. Для предотвращения таких нежелательных явлений матрица должна удовлетворять двум условиям: 1) условию достаточной прочности; 2) условию жесткости, необходимой для получения прочного без поперечных трещин изделия.

Согласно экспериментальным данным [28], при боковом давлении $p_б \leqslant 2000$ *дан/см*^{2} этим условиям удовлетворяют матрицы с отношением $a = 2$. Поэтому при боковом давлении $p_б = 2000$ *дан/см*^{2} толщину стенки следует принимать равной радиусу внутренней поверхности:

$$t = r_в.$$

Используя теоретические зависимости, представленные в работе [20], и новые данные [27] о коэффициенте бокового давления, определим толщину стенки составной матрицы при $p_б > 2000$ *дан/см*^{2}.

Радиальная деформация внутренней поверхности

$$\Delta r_в = (\Delta r_в)_{p_б} + (\Delta r_в)_{p_к}, \tag{64}$$

где $(\Delta r_в)_{p_б}$ — перемещение от внутреннего давления $p_б$;

$(\Delta r_в)_{p_к}$ — перемещение от давления, возникающего на контактной поверхности.

По данным работы [20] величина $(\Delta r_в)_{p_б}$ определяется формулой (57), а величина $(\Delta r_в)_{p_к}$ выражением

$$(\Delta r_в)_{p_к} = -\frac{p_к r_в}{E} \cdot \frac{2a}{a-1}. \tag{65}$$

С учетом этого равенство (64) примет вид:

$$\Delta r_в = \frac{p_б r_в}{E}\left(\frac{a^2+1}{a^2-1}+\mu\right) - \frac{p_к r_в}{E}\cdot\frac{2a}{a-1}. \qquad (66)$$

Подставляя значение p_k из (62) и преобразуя его, получаем

$$\Delta r_в = \frac{p_б r_в}{E}\left(\frac{1}{a-1}+\mu\right). \qquad (67)$$

Относительная величина приращения радиуса внутренней поверхности

$$\varepsilon_{r_в} = \frac{\Delta r_в}{r_в}\cdot 100\% \qquad (68)$$

или

$$\varepsilon_{r_в} = \frac{p_б}{E}\left(\frac{1}{a-1}+\mu\right)100\%. \qquad (69)$$

Для закаленных сталей (модуль упругости $E = 2{,}15\cdot 10^6$ *дан/см²*, коэффициент Пуассона $\mu = 0{,}28$) расчетные величины $\varepsilon_{r_в}$ в зависимости от a и $p_б$ сведены в табл. 9.

Таблица 9

Относительные приращения, %, радиуса внутренней поверхности матрицы $\varepsilon_{r_в}$

Значение a	Боковое давление $p_б$, *дан/см²*					
	400	1000	2000	3000	4000	5000
4,0	0,012	0,029	0,058	0,087	0,120	0,145
3,5	0,013	0,032	0,064	0,096	0,130	0,160
3,0	0,015	0,038	0,076	0,114	0,150	0,190
2,5	0,018	0,045	0,090	0,135	0,180	0,225
2,0	0,024	0,060	0,120	0,180	0,240	0,300

Исходя из допустимых деформаций $[\varepsilon_{r_в}]_{доп}$, при которых соблюдается условие обеспечения достаточной жесткости при соответствующих боковых давлениях, выведена формула для подсчета толщины стенки t при $p_б = 2000 \div 5000$ *дан/см²* и $a = 2 \div 4$:

$$t = r_в(Ap_б - B), \qquad (70)$$

где $A = 6{,}67\cdot 10^{-4}$ и $B = 0{,}33$ — постоянные величины.

Полученная формула, обеспечивая условие жесткости составной матрицы, автоматически обеспечивает и условие ее прочности.

Составные матрицы с отношением $a > 4$ изготовлять не следует, так как согласно формуле (60) при $a \to \infty$ $\sigma_{экв}$ стремится по величине к $p_б$ и практически достигает этого значения при $a = 4$. При дальнейшем увеличении a эквивалентное напряжение уменьшается очень мало.

Для прессования изделий сложной формы в массовом производстве используются пресс-формы с разрезными гильзами, запрессованными в цилиндрическую обойму по горячей или прессовой посадке. Для расчета такой матрицы на прочность можно в первом приближении использовать те же формулы, что и для неразрезных составных матриц, но при этом необходимо учитывать, что боковые давления следует ограничивать значениями, при которых образуется зазор между вкладышами. Образование зазора приводит к быстрому разрушению матрицы за счет распирающего действия порошка, попавшего в этот зазор.

Более точный расчет матриц для изделий сложной конфигурации нуждается в экспериментальном определении численных величин возникающих напряжений и их распределении по толщине стенки разрезной матрицы.

Расчет пуансонов. При работе пуансоны подвергаются сжатию и продольному изгибу.

На сжатие пуансоны проверяются по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{S_п} \leqslant [\sigma_{сж}], \tag{71}$$

где $\sigma_{сж}$ — напряжение сжатия, возникающее в пуансоне;
$S_п$ — площадь наименьшего поперечного сечения пуансона;
$[\sigma_{сж}]$ — допускаемое напряжение на сжатие для закаленной стали;
P — усилие прессования.

Длинные и тонкие пуансоны (обычно это нижние) и стержни, имеющие длину $l > 3d$, необходимо проверять на продольный изгиб. Сила, при которой может начаться изгиб пуансона, называется критической нагрузкой $P_{кр}$ и определяется по формуле

$$P_{кр} = \frac{2\pi^2 E I_{мин}}{l^2}, \tag{72}$$

где l — длина свободной части пуансона (равна расстоянию от пуансонодержателя до середины заходной части пуансона);
$I_{мин}$ — момент инерции наименьшего сечения пуансона;
E — модуль упругости (для инструментальной стали $E = 2{,}15 \times \times 10^6$ *дан/см²*).

Напряжения, возникающие при продольном изгибе, будут меньше предела пропорциональности при условии, что

$$P \leqslant \frac{P_{кр}}{n}, \tag{73}$$

где P — полное усилие прессования;

n — коэффициент безопасности (для пуансонов из закаленной стали, $n = 2 \div 3$).

Из формулы (72) и (73) следует, что максимальная длина свободной части пуансона

$$l = \sqrt{\frac{2\pi^2 E I_{мин}}{nP}}. \tag{74}$$

Расчет промежуточных прокладок. Промежуточные прокладки применяются в тех случаях, когда давление, передаваемое пуансоном на плиту, превышает 1800—2000 *дан/см²* при стальных плитах и 800—900 *дан/см²* при чугунных плитах. Размеры прокладок в плане соответствуют размерам пуансонодержателя, а толщина их выбирается в пределах 3—8 *мм*. Давление, передаваемое головкой пуансона, определяют по формуле.

$$q = \frac{P}{S_г} \leqslant [q], \tag{75}$$

где P — усилие прессования;

$S_г$ — площадь поперечного сечения головки пуансона;

$[q]$ — допустимое удельное давление для материала верхней плиты.

Расчет пружин. В пресс-формах в большинстве случаев применяются цилиндрические винтовые пружины сжатия.

Основные расчетные формулы:

$$\tau = \frac{8kP_{кон}D}{\pi d^3} \leqslant [\tau]; \tag{76}$$

$$\lambda_{кон} = \frac{8P_{кон}D^3 i}{Gd^4} = \frac{8P_{кон}c^3 i}{Gd} = \frac{\pi D^2 i}{kGd}[\tau]. \tag{77}$$

Здесь $P_{кон}$ — предельно допускаемая нагрузка пружины;

$\lambda_{кон}$ — осадка пружины при $P_{кон}$;

D — средний диаметр пружины;

d — диаметр проволоки пружины;

i — число рабочих витков;

$c = \frac{D}{d}$ — индекс, характеризующий кривизну витка пружины;

$G = 8 \cdot 10^3$ *дан/мм²* — модуль упругости стали при кручении;

$k \approx \frac{4c+2}{4c-3}$ — коэффициент, учитывающий влияние кривизны витков для проволоки круглого сечения;

$[\tau]$ — допускаемое напряжение при кручении материала пружины (для статических условий находится в пределах 5000—7000 *дан/см²*).

Пружины, применяющиеся в пресс-формах для подвески матриц, стержней и пуансонов, работают при напряжениях, циклически изменяющихся во времени. Поэтому для обеспечения требуемой долговечности пружины допускаемые напряжения $[\tau]$ должны быть снижены.

Таблица 10

Ориентировочные значения коэффициента снижения допускаемого напряжения $[\tau]$

Число циклов	0,75	0,5	0,25	0
100	1,00	1,00	1,00	1,00
1 000	0,95	0,91	0,86	0,81
5 000	0,90	0,82	0,77	0,73
10 000	0,88	0,79	0,73	0,68
20 000	0,86	0,75	0,69	0,63
100 000	0,83	0,68	0,59	0,52
500 000	0,82	0,63	0,52	0,44
1 000 000	0,81	0,61	0,51	0,41
10 000 000	0,80	0,60	0,50	0,40

В табл. 10 приведены значения коэффициентов снижения допускаемого напряжения $[\tau]$ в зависимости от коэффициента асимметрии цикла $r = \frac{\tau_{мин}}{\tau_{макс}}$ ($\tau_{макс}$ и $\tau_{мин}$ — многократно повторяющиеся наибольшее и наименьшее напряжения в поперечных сечениях витков пружины) и требуемой долговечности в циклах.

После расчета и выбора основных размеров пружины производится проверка ее на усталостную прочность и выносливость.

Для этого определяется коэффициент запаса прочности по выносливости n:

$$\frac{1}{n} = \frac{\tau_{макс}}{2\tau_т}\left[\left(1 + \frac{\tau_{мин}}{\tau_{макс}}\right) + \frac{\tau_т}{\tau_{-1}}\left(1 - \frac{\tau_{мин}}{\tau_{макс}}\right)\right], \qquad (78)$$

где $\tau_т$ — предел текучести материала проволоки;

τ_{-1} — предел выносливости при знакопеременных симметричных нагрузках.

Величина n должна находиться в пределах 1,8—2,2.

Минимальные и максимальные напряжения определяют в соответствии с формулой (77)

$$\tau_{мин} = \frac{kGd}{\pi D^2 i} \lambda_{нач}; \quad (79)$$

$$\tau_{макс} = \frac{kGd}{\pi D^2 i} \lambda_{кон}, \quad (80)$$

где $\lambda_{нач}$ — осадка пружины при начальной нагрузке.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ

Пресс-форма, используемая в массовом производстве, представляет собой сложный механизм, состоящий из большого количества деталей. В зависимости от выполняемых функций эти детали можно разделить на следующие группы:

1) основные рабочие детали: матрицы, пуансоны, стержни;

2) вспомогательные рабочие детали: толкатели, обоймы, направляющие колонки, направляющие втулки, опорные плиты, кулачки, упоры, подкладки, плиты питателей, соединительные планки, пружины;

3) вспомогательные детали обычного типа: болты, гайки, шпонки, заглушки, пробки, штифты, винты, ненагруженные плиты, фиксаторы, ограничители и др.

Детали второй и третьей групп применяются во многих механизмах и машинах общего машиностроения, и выбор материала для них обычно не представляет затруднений.

Наиболее важным является правильный выбор материала для первой группы деталей, так как от этого зависит срок службы пресс-формы и ее нормальная работа.

Главной рабочей деталью пресс-формы является матрица; она наиболее трудоемка при изготовлении, и поэтому срок службы ее должен быть максимальным.

Чтобы обеспечить высокие эксплуатационные свойства матрицы, материал ее должен обладать износостойкостью (вследствие абразивного действия порошка), высокой твердостью (вследствие применения высоких давлений прессования), достаточным сопротивлением усталостным напряжениям (вследствие периодичности процесса), сопротивлением растягивающим нагрузкам при приложении давления. Кроме того, материал матрицы должен хорошо обрабатываться и иметь минимальные объемные изменения при термиче-

ской обработке, что позволяет легче добиться высокой точности при изготовлении матрицы. Указанным свойствам хорошо удовлетворяют штамповые стали для деформирования в холодном состоянии.

При необходимости спрессовать небольшую партию деталей сравнительно небольших размеров матрицу изготовляют из сталей марок У10 и У12. Матрицы сложной формы и относительно крупных размеров для партий деталей в 25—30 тыс. штук изготовляют из сталей марок Х, 9ХС, ХВГ, 9ХВГ. Стали 9ХС и ХВГ позволяют получить небольшие деформации при закалке.

Для матриц, испытывающих большие механические нагрузки или имеющих сложную форму и требующих повышенной твердости (*HRC* 65÷67), можно использовать стали высокой прокаливаемости (в сечении более 200—300 *мм*) и износоустойчивости, имеющие минимальные объемные изменения при закалке. Это стали марок Х12Ф1, Х12Ф, Х12М, Х12. Первые три марки стали сравнительно мало различаются по свойствам. Сталь Х12Ф1 несколько превосходит стали Х12Ф и Х12М по пластичности и вязкости, а также по устойчивости против отпуска. Сталь Х12М, содержащая больше углерода, получает после закалки немного более высокую твердость. Сталь Х12 вследствие повышенного количества избыточных карбидов заметно уступает по механическим свойствам остальным высокохромистым сталям. Поэтому сталь Х12 следует применять лишь для матриц простой формы, которые в эксплуатации не получают значительных ударных нагрузок, но от которых требуется высокая износоустойчивость.

Для повышения износостойкости сталей можно применять химико-термическую обработку. Хорошо зарекомендовала себя в массовом производстве азотируемая сталь 3Х2В8 с глубиной азотированного слоя 0,2—0,3 *мм* и твердостью поверхности по Виккерсу 900 *дан/мм*^{2}. Высокую поверхностную твердость в результате азотирования получает и сталь 38ХМЮА. Однако эта сталь имеет сравнительно невысокую твердость сердцевины (*HRC* 38÷40), и поэтому ее не рекомендуют применять для высоких давлений.

Промышленность зарубежных стран широко применяет для изготовления матриц быстрорежущие стали марки Р18 с азотированием рабочих поверхностей.

Для стержней применяются те же стали, что и для матриц, но в отличие от матриц материал стержня должен обладать еще и вязкостью для тех частей стержня, которые находятся вне области действия порошка, с тем чтобы предотвратить поломку

стержня при продольном изгибе. Поэтому нижнюю часть стержня, не подвергающуюся абразивному износу, следует закаливать до твердости *HRC* 45÷50.

Условия работы пуансонов отличаются от условий работы матриц и стержней. Пуансоны значительно в меньшей степени подвергаются абразивному износу и в основном работают на сжатие (часто с ударными нагрузками). Поэтому в первую очередь материал пуансонов должен обеспечить достаточную вязкость и усталостную прочность, а затем уже твердость для сопротивления смятию и износу.

Пуансоны несложной формы и небольших размеров изготовляют из сталей марок У7, У10, У12. Для изготовления пуансонов сложной формы применяют инструментальные легированные стали марок 9ХС и ХВГ.

При прессовании изделий низкой и даже средней плотности из порошков железа и на основе железа хорошие результаты были получены при использовании верхних пуансонов, изготовленных из алюминиевой бронзы ($\sigma_в > 77$ *дан/мм²*, $HB > 300$ *дан/мм²*) [39].

Материалы для вспомогательных рабочих деталей выбираются в зависимости от условий их работы в пресс-форме. Например, обоймы матриц, если давление прессования невелико, изготовляются из малоуглеродистых сталей марок Ст. 3, Ст. 5, 45, а при высоких давлениях — из высокоуглеродистых инструментальных сталей марок У10, У12, закаливаемых до твердости *HRC* 40.

Пружины для подвески матриц, стержней и пуансонов, работающих при напряжениях, изменяющихся во времени, изготовляются из хромованадиевых сталей марок 50ХФА, 60С2ХФА.

Направляющие втулки, опорные плиты, кулачки и др. изготовляются из сталей марок У7, У8 и в некоторых случаях из легированных инструментальных сталей.

Для изготовления вспомогательных деталей обычного типа широко применяются цементуемые малоуглеродистые стали марок Ст.1, Ст.2, Ст.5 и Ст.6.

ДЕТАЛИ ПРЕСС-ФОРМ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Для изготовления твердосплавного инструмента применяются твердые сплавы ВК6, ВК8, ВК11 и ВК15.

Прессующий инструмент, изготовленный из твердых сплавов, обладает наибольшими износостойкостью и сроком службы. Стой-

кость твердосплавных матриц превышает стойкость матриц из азотируемых сталей в 15—20 раз.

По данным предприятий США, матрицы из твердых сплавов выдерживали производство 9 млн. деталей, причем износ матрицы составлял только 0,5 *мкм*. Износостойкость матрицы определяется твердостью поверхности. У твердосплавных матриц она сравнительно высока. Например, для сплава ВК8 она составляет *HRA* 87÷88, т. е. твердость сплава значительно выше, чем у инструментальных сталей.

Хорошими эксплуатационными данными обладает карбидохромовый сплав с никелевой связкой, технология изготовления которого описана В. В. Григорьевой и В. Н. Клименко [9]. Сплавы на основе карбида хрома принадлежат к тому же типу, что и сплавы на основе карбида вольфрама, однако себестоимость изделий из сплавов на основе карбида хрома в 4 раза меньше себестоимости изделий из сплавов на основе карбида вольфрама. Для изготовления матриц пресс-форм можно рекомендовать сплавы на основе карбида хрома, содержащие в качестве связки никель в количестве 10—15% по весу. Матрицы из такого сплава имеют твердость *HRA* 87÷90, достаточную прочность ($\sigma_{изг} = 40 \div 45$ *дан/мм*^{2} и $\sigma_{сж} = 350 \div 400$ *дан/мм*^{2}) и весьма износоустойчивы. Так, например, норма стойкости матрицы из стали ХВГ в автоматической пресс-форме для прессования ферритов составляет 5—8 тыс. штук. В матрице, изготовленной из сплава на основе карбида хрома с 10% никелевой связки, было спрессовано более 100 тыс. штук ферритов, причем размеры матрицы почти не изменились.

Твердые сплавы, обладая высокой прочностью на сжатие, плохо работают на растяжение. Поэтому матрицы всегда стягиваются обоймами.

При использовании цилиндрических матриц применяется горячая запрессовка матрицы в обойму. При горячей запрессовке матриц прямоугольной формы требуется очень тщательная пригонка поверхности соединения матрицы и обоймы. В случае плохой пригонки в твердосплавных деталях появляются трещины, которые приводят к выводу из строя пресс-формы.

В качестве материала для обойм рекоменуются стали марок У10, У12, закаленные до твердости *HRC* 40.

Для запрессовки цилиндрических матриц из твердых сплавов в обойму применяются величины натягов после охлаждения обоймы, указанные в табл. 11.

Можно пользоваться данными табл. 11 и для сборки некрупных твердосплавных вставок в стальные обоймы пресс-форм. Во

Таблица 11

Величины натягов для запрессовки цилиндрических твердосплавных матриц в обойму

Наружный диаметр вставки из твердого сплава, *мм*		Натяг под запрессовку, *мм*		Наружный диаметр вставки из твердого сплава, *мм*		Натяг под запрессовку, *мм*	
Минимум	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум
11	14	0,03	0,04	45	51	0,11	0,13
14	17	0,04	0,05	51	76	0,11	0,14
17	21	0,05	0,06	76	89	0,14	0,17
21	24	0,07	0,08	85	102	0,17	0,19
24	29	0,08	0,09	102	127	0,18	0,20
29	35	0,09	0,11	127	153	0,20	0,23
35	45	0,10	0,11	153	178	0,23	0,25

всех случаях характер соединений должен обеспечивать прочность обоймы при возникновении разрывающих усилий в процессе работы инструмента.

В массовом производстве при больших давлениях прессования, а чаще при калибровке и допрессовке, применяются также твердосплавные стержни. В этом случае из твердого сплава делается только рабочая часть, которая крепится на стальном сердечнике.

В работе [10] сообщается о попытках использовать в массовом производстве твердосплавные пуансоны, которые, как и стержни, делаются из двух частей — твердосплавной головки и стального основания. Отмечается, что очень трудно обеспечить длительную прочность соединения.

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ПРОЧИХ ВИДОВ ФОРМОВАНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Ранее рассматривались принципы конструирования и методы расчета пресс-форм, применяющихся для формования порошков в закрытом объеме при комнатной температуре с относительно невысокими скоростями приложения давления. В настоящее время в практике порошковой металлургии все большее распространение получают способы формования с использованием высоких температур, высоких скоростей и пр., дающие возможность изготовлять

металлокерамические детали с повышенной плотностью и более равномерным распределением ее, относительно больших габаритных размеров и т. д. Ниже приведены методы расчета и описания конструкций пресс-форм для некоторых из таких способов формования.

ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ

Конструкции пресс-форм для горячего прессования определяются конфигурацией и размерами изделий, способом нагрева и необходимостью подвода защитной среды [30]. В графитовых пресс-фор-

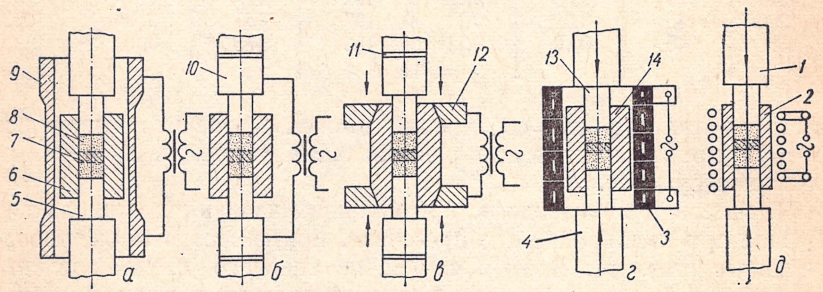


Рис. 70. Методы нагрева порошков:
4, 5 — нижние пуансоны; *3, 9* — нагреватели; *2, 6, 14* — матрицы; *1, 10, 13* — верхние пуансоны; *7* — изделие; *8* — засыпка; *11* — изолятор; *12* — токоподвод.

мах, когда о создании защитной среды не приходится заботиться, решающее значение имеет форма изделий и способ нагрева.

Возможны четыре метода электронагрева спекаемых порошков при горячем прессовании (рис. 70):

1) косвенный нагрев пресс-формы пропусканием тока через специальные сопротивления, окружающие пресс-форму (рис. 70, *а*);

2) прямой нагрев токопроводящей пресс-формы пропусканием тока непосредственно через спекаемый материал или через матрицу (рис. 70, *б*, *в*);

3) прямой индукционный нагрев матрицы током высокой частоты (рис. 70, *г*);

4) косвенный индукционный нагрев токонепроводящей матрицы (рис. 70, *д*).

В связи с тем что горячее прессование производится в основном в графитовых пресс-формах, задача сводится к нагреванию электро-

проводного материала и электропроводной матрицы. Подвод тока осуществляется посредством соответствующих контактов.

При использовании графитовых пресс-форм для прямого нагрева электрический ток, благодаря разному электрическому сопротивлению матрицы и пуансонов, быстрее и сильнее нагревает пуансоны, чем матрицу. При подводе тока через пуансоны, особенно если ток подводится с одной стороны к матрице и с другой — к одному пуансону, последний перегревается. Под действием приложенного давления пуансон испытывает пластическую деформацию, что приводит к его искривлению, утолщению и выпучиванию средней части. Поэтому способ подвода электрического тока через торцы пуансонов может быть применен лишь в случае прессования изделий небольшой высоты.

Для прессования высоких изделий лучше осуществить подвод тока непосредственно к матрице, хотя конструктивно такой подвод сложнее, чем подвод через пуансоны.

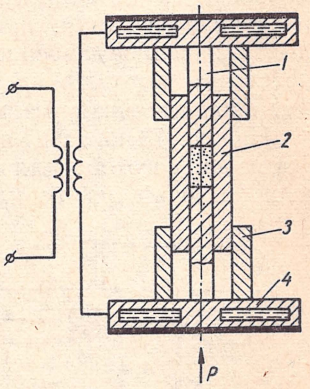


Рис. 71. Схема подвода тока к матрице через графитовые муфты:
1 — верхний пуансон; *2* — матрица; *3* — графитовая муфта; *4* — токоподвод.

Удачным решением вопроса является применение специальных графитовых муфт (рис. 71). Графитовые муфты представляют собой втулки, скользящие по поверхности матрицы при прессовании. При этом электрический ток проходит как через пуансоны, так и через матрицу. Переходные муфты предотвращают перегрев пуансонов и защищают их от выгорания. Обычно они используются в мощных промышленных прессах горячего прессования, предназначенных для изготовления изделий больших размеров.

При конструировании графитовых пресс-форм для прямого нагрева помимо расчета на прочность необходимо производить расчет их как нагревателей. Из сопоставления указанных расчетов находятся оптимальные размеры пресс-форм.

Ниже приводится описание некоторых пресс-форм для горячего прессования.

На рис. 72 показана пресс-форма для горячего прессования полировальных твердосплавных дисков *8*. Пресс-форма устанавливается на плите гидравлического пресса *11* и состоит из следую-

щих рабочих графитовых частей: матрицы *7*, стержня *10*, пуансонов *6*, *9* и колец *2*, разделяющих прессуемые изделия. Электрический ток подводится к матрице *7* через токоподводящие шины *4* и контактные головки *1* и *5*. Ток, проходя через матрицу, нагревает ее. По мере повышения температуры увеличивают давление, которое передается на прессуемую смесь плунжером *3* пресса. Когда наружная поверхность матрицы достигнет температуры, меньшей на 50—100° С температуры спекания, прикладывается полное давление, под действием которого происходит окончательная усадка.

На рис. 73 показана пресс-форма для изготовления крупных изделий из бериллия.

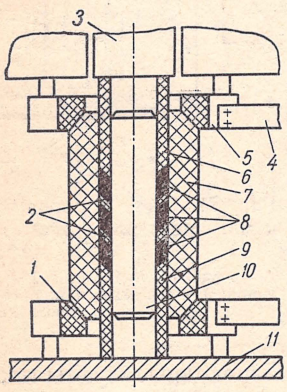


Рис. 72. Пресс-форма для горячего прессования твердосплавных дисков.

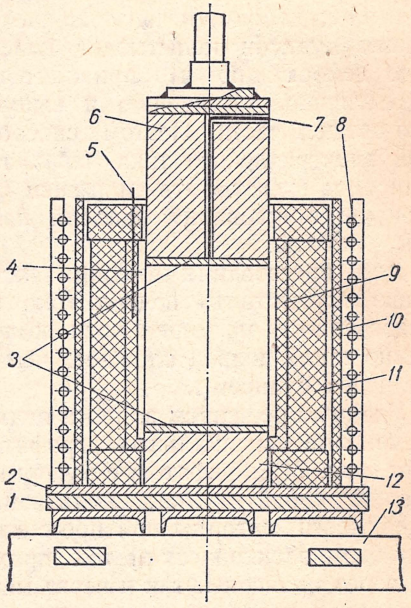


Рис. 73. Пресс-форма для крупногабаритных изделий.

В графитовой матрице *11* имеются два вкладыша: наружный графитовый *9*, облегчающий разборку, и внутренний стальной *4* с продольным разрезом для облегчения удаления пуансонов *6* и *12*. Внутренняя и внешняя поверхности стального вкладыша хромированы для предохранения стали от взаимодействия с графитом и бериллием. Можно использовать вкладыши из алитированной стали или из сплава инконель, содержащего 80% никеля, 14% углерода и 6% железа, с нанесением на их поверхность (путем распыления) тугоплавкого стекла. Пуансоны *6*, *12*

и подкладки *3* изготовляются из малоуглеродистой стали. Пресс-форма помещается в кварцевую трубу *10*, что препятствует образованию дуги между графитом и индуктором *8*, а также служит теплоизоляцией.

Температура в процессе горячего прессования измеряется с помощью двух термопар *7* и *5*, одна из которых располагается вблизи прессующей поверхности пуансона, а вторая примыкает к наружной стенке стального вкладыша *4*.

Пресс-форма и устройство для нагрева помещаются на подушке *13*, состоящей из нескольких секций швеллерного железа и стальных плит *1* и *2*.

Извлечение бериллиевого блока из пресс-формы не вызывает затруднений (если не происходит оплавления стального вкладыша): из пресс-формы вынимаются оба пуансона и графитовая часть матрицы, а затем отделяется бериллиевый блок.

Одним из трудных вопросов в практике горячего прессования является подбор достаточно стойкого материала для пресс-форм.

Металлические пресс-формы при горячем прессовании имеют низкую износостойкость. Поэтому при высоких температурах (свыше 900° С) в качестве материала для пресс-форм используется только графит. В области температур до 800—900° С в качестве материала можно применять твердые сплавы. Для сравнительно низких температур возможно использование пресс-форм из высоколегированных жаропрочных сталей. В последнее время получили распространение токонепроводящие пресс-формы из смеси бериллия, окиси циркония, циркона и других тугоплавких и достаточно стойких при высоких температурах окислов и силикатов.

Вторым по трудности в практике горячего прессования является вопрос извлечения спеченного изделия из пресс-формы. Извлечение изделия трудно осуществить из-за сваривания поверхности спекаемого материала с торцами пуансона и стенками матрицы и пластического затекания некоторых материалов в зазор между пуансоном и стенками матрицы. Свободное извлечение изделия возможно только при условии получения изделия с конечной остаточной пористостью. В этом случае изделия остывают без приложения давления, и тогда в связи с различием температурных коэффициентов расширения материалов матрицы и изделия последнее отойдет от стенок. Образующийся зазор для цилиндрического изделия можно рассчитать следующим образом.

Радиус отверстия матрицы при температуре t

$$R_{м} = R_{о(м)}(1 + \alpha_{м}\Delta T); \qquad (81)$$

радиус наружной поверхности изделия при температуре t

$$R_{и} = R_{о(и)}(1 + \alpha_{и}\Delta T). \quad (82)$$

Здесь $R_{о(м)}$ и $R_{о(и)}$ — соответственно радиусы отверстия матрицы и наружной поверхности изделия при температуре 20° С;

$\alpha_{м}$ и $\alpha_{и}$ — коэффициенты линейного расширения материалов матрицы и изделия.

Зазор между стенкой матрицы и изделием

$$\delta = R_{м} - R_{и}. \quad (83)$$

Для облегчения процесса уплотнения порошка, а также для предотвращения приваривания изделий к стенкам матрицы и торцам пуансонов рабочие поверхности пресс-форм покрывают смазками. Для смазки обычно берут порошок чешуйчатого и серебристого графита в виде суспензии в глицерине или жидком стекле. Можно применить коллоидальный графит. Хорошими смазочными свойствами обладает также суспензия нитрида бора в глицерине. Удовлетворительной смазкой для процесса горячего прессования при невысоких температурах и особенно для повторного горячего прессования является чистая дробленая слюда.

ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ СКОШЕННЫМ ПУАНСОНОМ

Принципиальная схема работы пресс-формы для прессования изделий скошенным пуансоном была представлена на рис. 22. Полость матрицы представляет прямоугольный желоб, ограниченный спереди пластинкой. Пуансон имеет форму прямоугольного параллелепипеда со скосом по нижней грани под некоторым углом α (рис. 74).

Основная расчетная формула для инструмента имеет вид [3]

$$l = h_{к}\frac{k-1}{\operatorname{tg}(\alpha - \Delta\alpha)}, \quad (84)$$

где l — длина проекции наклонной части пуансона;

$h_{к}$ — конечная высота спрессованной полосы;

k — коэффициент обжатия;

α — угол наклона нижней грани пуансона;

$\Delta\alpha$ — поправка, зависящая от объема порошка, вытекающего в процессе прессования из-под пуансона.

Величина $\Delta\alpha$ зависит от плотности изделия. Ее значения для железного порошка приведены ниже:

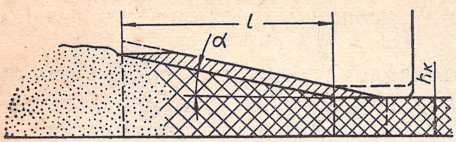


Рис. 74. Схема к расчету пресс-форм для прессования скошенным пуансоном.

$\gamma_к$, $г/см^3$	4,23	5,74	5,9
$\Delta\alpha$	1°05′	0°47′	0°35′

На величину $\Delta\alpha$ могут оказывать влияние характеристики инструмента и условия прессования. С увеличением скорости прессования можно ожидать снижения $\Delta\alpha$, т. е. уменьшения «вытекающего» (выдавливаемого) объема. Процентное соотношение между выдавливаемым объемом и полным захватываемым подсчитывается по формуле

$$\delta = \frac{\operatorname{tg}\Delta\alpha}{\cos^2\alpha\ \operatorname{tg}\alpha} \cdot 100\%. \qquad (85)$$

ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ МУНДШТУЧНОГО ПРЕССОВАНИЯ

На рис. 75 показано устройство пресс-формы для прессования труб из порошков тугоплавких соединений. В мундштук *4* вставлена подпрессовочная втулка *5*, в которую входит игла *2* пуансона. На мундштуке устанавливается матрица *1* и закрепляется гайкой *3*. После засыпки смеси вставляется пуансон и производится подпрессовка. Затем убирается плита *6*, поддерживающая подпрессовочную втулку, и выпрессовывается труба.

При массовом производстве более целесообразно производить подпрессовку шихты вне пресс-формы для мундштучного прессования.

При прессовании труб и стержней небольшого сечения высота мундштука должна быть в 2,5—4 раза больше диаметра его выходного отверстия. В этом случае получаются детали точно заданных размеров. Выпрессовку шихты через мундштук следует производить со скоростью 5—10 *мм/сек*, так как при большой скорости неравномерно распределяется плотность по высоте заготовки, что приводит к неравномерной усадке и короблениям при спекании.

Пресс-форма была изготовлена из стали ХВГ и сконструирована таким образом, что степень обжатия была в пределах 85—95%.

Метод мундштучного прессования дает возможность получать такие изделия, как спиральные сверла и развертки, концевые фрезы, витые пластины и т. п.

На рис. 76 показана пресс-форма для прессования сверл из твердых сплавов ВК10 и ВК15. Предварительно спрессованные брикеты из смеси твердого сплава с парафином (6—9% весовых) закладываются в пресс-форму и пуансоном *1* продавливаются через конус *2* и мундштук *3*.

Формующий мундштук изготовлялся из твердого сплава марки ВК6 и после спекания полировался пастой карбида бора. Все рабочие поверхности в пресс-форме, в том числе и в мундштуке, были обработаны не ниже 9 класса чистоты. При плохой полировке истечение массы тормозилось о стенки мундштука, особенно в местах, формующих кромки сверла, в результате чего сверла из мундштука выдавливались с рваными кромками.

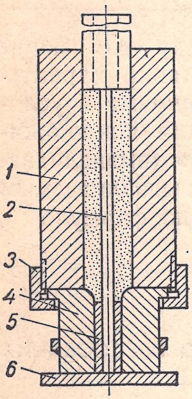


Рис. 75. Пресс-форма для мундштучного прессования труб.

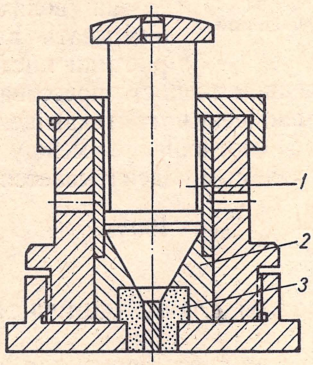


Рис. 76. Пресс-форма для мундштучного прессования сверл.

Большое влияние на процесс мундштучного прессования оказывает форма конуса. В конусе происходит дополнительное уплотнение массы. Как показал опыт, уменьшение угла конуса ниже 45° не оказывает влияния на дальнейшее уплотнение массы.

Степень обжатия в описанной пресс-форме достигала 96—99%. Скорость истечения спиральных заготовок составляла 2—3 *мм/сек*. Для облегчения скольжения массы по стенкам матрицы брикеты перед прессованием нагревали до 40° С, а температура стенок пресс-формы поддерживалась в пределах 35—40° С (на пресс-форму надевался электрический нагреватель).

На любое перемещение смеси в пресс-форме затрачивается усилие прессования $P_{п}$, состоящее из усилия $P_{к}$, затраченного на перемещение смеси, находящейся в конической части мундштука, и усилий $P_{т.в}$ и $P_{т.ц}$, затрачиваемых на преодоление сил трения на поверхности конической воронки, сил трения и прилипания в цилиндрической части мундштука. Таким образом, усилие прессования

$$P_{п} = P_{к} + P_{т.в} + P_{т.ц.} \qquad (86)$$

Усилие $P_к$ подсчитывается по формуле

$$P_к = 4\pi \frac{(D-d)\,D^2 v_{ист}}{d^2\,\mathrm{tg}\,\alpha}\,\eta_т + \frac{2\pi\,(D-d)}{d\,\mathrm{tg}\,\alpha}\,p_{к_2}, \qquad (87)$$

где α — угол наклона образующей конической части мундштука;

$v_{ист}$ — скорость истечения порошковой массы;

$\eta_т$ — вязкость смеси;

$p_{к_2}$ — условный динамический предел текучести смеси, который определяется при помощи вискозиметра;

D — диаметр отверстия матрицы;

d — диаметр отверстия мундштука.

При расчете полного усилия прессования можно принимать $P_п = P_к$, так как $P_{т.в}$ и $P_{т.ц}$ сравнительно невелики и ими можно пренебречь.

ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ

На рис. 77 показана пресс-форма, применявшаяся при гидростатическом прессовании алюмо-металлических керметов. Заготовки прессовались в виде стержней. Пресс-форма состоит из резиновой трубки *3*, помещенной в перфорированную металлическую гильзу *4*, закрываемую с двух сторон резиновыми пробками *2* и *5*. Через иглу *1* удаляется воздух. Конструкция пресс-формы обеспечивает одностороннее прессование изделия.

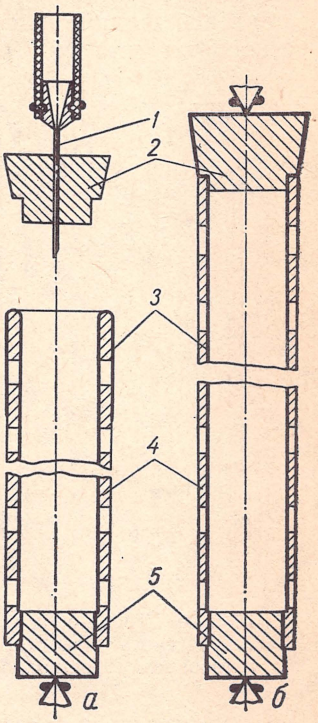


Рис. 77. Пресс-форма для гидростатического прессования керметов:
а — до заполнения порошком; *б* — после заполнения порошком.

Всестороннее прессование цилиндрических заготовок осуществляют в пресс-форме, схема которой показана на рис. 78. Резиновая тонкостенная труба *2* вложена в металлическую перфорированную гильзу *1*, причем концы резиновой трубы завернуты на наружную поверхность гильзы. На нижний торец гильзы надет резиновый колпак *5*, обтягивающий резиновым манжетом *4*. В таком виде пресс-форма готова к заполнению. После засыпки порошка *3* верхний торец

гильзы закрывают аналогично нижнему и гильзу помещают в рабочую камеру для прессования. При повышении давления жидкость, поступая через отверстия гильзы, давит на оболочку и торцевые поверхности, производя всестороннее обжатие порошка.

На рис. 79 показана схема пресс-формы для прессования труб. Она отличается от описанной тем, что внутри резиновой трубы вставлен металлический сердечник *2*, центрируемый сверху и снизу резиновыми деталями *1* и *3*.

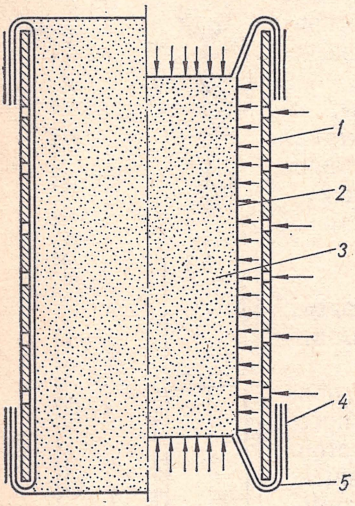


Рис. 78. Пресс-форма для гидростатического прессования заготовок всесторонним обжатием.

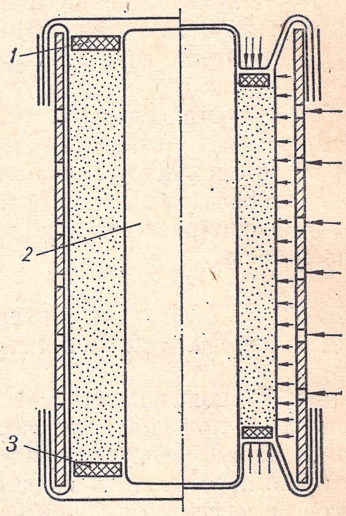


Рис. 79. Пресс-форма для гидростатического прессования труб.

В качестве материала оболочки, кроме резины, применяют свинец.

Для гидростатического прессования особо тонкостенных (от 0,2 до 1 *мм*) вольфрамовых трубчатых брикетов длиной до 110 *мм* использовались пресс-формы, конструкция которых показана на рис. 80. Пресс-формы состоят из свинцовых трубок *5*, расположенных концентрично одна в другой. Соприкасающуюся с порошком *6* поверхность трубок во избежание загрязнения его свинцом покрывают графитом или парафином. Во внутреннюю трубку вставляется стальной сердечник *4* (рис. 80, *а*), если обжатие производится снаружи, и если давление прикладывается изнутри, то наружная свинцовая трубка помещается в стальную обойму *7* (рис. 80, *б*). Внут-

ренняя свинцовая трубка центрируется относительно наружной деталями *2*. В пресс-форме на рис. 80, *а* детали поставлены на резиновые прокладки *3*. Герметизация пресс-форм осуществляется свинцовой пайкой *1*.

При гидростатическом прессовании существенное значение для получения изделий с равномерной плотностью имеет равномерное заполнение пресс-формы порошком. Поэтому необходимо осуществлять набивку или утряску порошка.

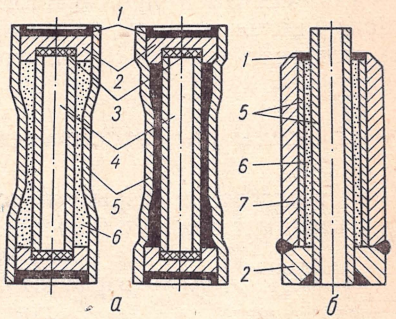


Рис. 80. Свинцовые пресс-формы для гидростатического прессования тонкостенных труб:
а — обжатие снаружи; *б* — обжатие изнутри.

ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ УДАРНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Ударное прессование осуществляется на механических молотах за счет энергии свободно падающей бабы, баллистических прессах за счет энергии движущегося от взрыва пороха или сгорания газа метательного снаряда и пневмо-механических машинах за счет энергии, выделяющейся при адиабатическом расширении сильно сжатого газа.

Так как силы, действующие на рабочие детали пресс-форм, обычно велики, должны быть приняты меры для обеспечения безопасности и надежности их работы. Матрицы следует запрессовывать в обоймы или устанавливать в матрицедержатели. Твердость матриц и пуансонов не должна быть большой (до *HRC* 56), изготовляться они должны из сталей с повышенными ударной вязкостью и прочностью. Рекомендуется сталь Х2В2ФМ, имеющая предел прочности на изгиб 380 *дан/мм*^{2} и ударную вязкость $\alpha_н \cong 100 \div 120$ *дж/см*^{2} при твердости *HRC* 56÷57.

Конструктор должен знать силы, действующие на пресс-форму, так как они в значительной степени определяют конструкцию пресс-формы и выбор материалов для ее деталей. Однако определить возникающие силы весьма трудно ввиду чрезвычайной кратковременности их приложения. Для получения приближенных значений сил, могущих служить исходными при расчетах, можно использовать уравнение энергии

$$E = Ph,$$

где P — сила;

h — путь действия силы.

Величина E рассчитывается по формуле

$$E = \frac{mv^2}{2},$$

где m — масса ударных частей;

v — скорость частей до удара.

По окончании прессования после снятия нагрузки возможно отскакивание матрицы от плиты пресса. Поэтому необходимо предусматривать жесткое крепление матрицы.

ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ ВЗРЫВОМ

При прессовании взрывом используются взрывчатые вещества (в.в.) как метательные (порох), так и бризантные (тротил, гексоген и т. п.), отличающиеся в основном скоростью взрывчатого превращения.

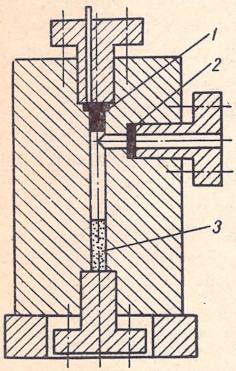


Рис. 81. Пресс-форма для прессования непосредственным воздействием пороховых газов.

С помощью потока давление создается только в закрытом объеме.

Пресс-форма, в которой давление образуется при сгорании порохового заряда *1*, а продукты горения непосредственно воздействуют на прессуемый порошок *3*, представлена на рис. 81. Давление передается односторонне. Регулировка максимального давления производится подбором определенного количества медных предохранительных дисков *2* толщиной по 0,25 *мм*.

При использовании бризантных в. в. в воздушной среде давление ударной волны можно передавать на пуансон, находящийся в контакте с порошком, засыпанным в матрицу. Для этого на пуансон монтируется плита с установленным на ней зарядом в.в. в виде цилиндра. Такой способ используют в лабораторных условиях для проверки возможности прессования порошков.

Другое применение взрыва в воздушной среде — использование прямого воздействия давления при взрыве без пресс-инструмента. Для этого порошок помещают в пресс-форму, представляющую собой цилиндр из мягкой стали, закрытый с двух сторон пробками. Пробки привариваются к цилиндру. На цилиндр надевают две картонные трубки (одну плотно, а вторую с радиальным зазором, рав-

ным 6,35 *мм*). Кольцевое пространство между ними заполняют тринитротолуолом в гранулированном или чешуйчатом виде. Упаковка торцов производится картонными шайбами с заливкой парафином. По этой схеме фирма Дюпон (Англия) прессовала графитовый порошок. Достигнута плотность брикетов 2,0—2,15 *г/см*^{3} (теоретическая плотность 2,26 *г/см*^{3}). Давление на поверхности в.в. достигало 200 000 *ат*.

Недостатком методов прессования взрывом в воздушной среде является неравномерное распределение прилагаемого давления по поверхности матрицы. Этот недостаток устраняется при подводном взрыве, который является более безопасным.

Фирма Дюпон предложила следующую схему (рис. 82) прессования цилиндрических брикетов. Матрицу *6* для порошка *7* изготовляют точно так же, как это было описано выше для случая со взрывом в воздушной среде. Лист в.в. *3* плотно обматывают вокруг картонной трубки *5*, внутренний диаметр которой больше диаметра матрицы на 44,5 *мм*. Матрицу с порошком и картонную трубку с в.в. устанавливают в воде *4* строго концентрично. Сверху помещают промежуточный заряд *2* в виде конуса для передачи детонации от электродетонатора *1* к листу в.в. В этом случае используют в.в. со скоростью детонации более 1200 *м/сек*. Максимальные размеры спрессованных графитовых брикетов были следующие: диаметр 203 *мм*, длина 356 *мм*.

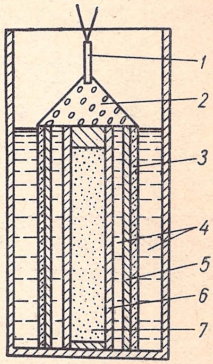


Рис. 82. Прессование подводным взрывом.

ФОРМЫ ДЛЯ ШЛИКЕРНОГО ЛИТЬЯ

Формы для шликерного литья чаще всего изготовляются из гипса. Лучшим является алебастровый гипс. Гипсовые формы должны иметь определенную пористость, чтобы обеспечить поглощение влаги из шликера. С этой целью при изготовлении гипсовых форм соотношение воды и гипса принимают равным единице. Это соотношение обеспечивает наилучшее воспроизведение модели и оптимальную пористость. Удельный вес формы, выполненной из алебастрового гипса, равен 1,05 *г/см*^{3}, при этом 1 *см*^{3} гипсовой формы в состоянии поглотить 0,32 *см*^{3} воды. Эта величина имеет решающее значение при проектировании формы. Объем гипса, использован-

ный на изготовление формы, должен быть на 10% больше, чем количество воды в шликере.

Большое значение для качества формы имеет способ сушки. Лучшие результаты получены при свободной сушке на свежем воздухе. Температура сушки 35—40° С, время сушки 24 *ч*.

Модели для отливки гипсовых форм выполняются из металла, пластмасс, пластилина, воска, дерева, гипса и т. д. Модели из дерева и гипса перед применением необходимо пропитать веществом, предотвращающим увлажнение. Если модель из гипса должна служить для получения нескольких форм, она покрывается тонким слоем раствора шеллака в спирте. Модели для большого количества форм пропитываются лаком, а затем сушатся. Лак в этом случае не только пропитывает гипс, но и улучшает его механические свойства. Поверхность модели должна быть гладкой. Чтобы легче отделять модель от формы, ее перед заливкой гипса необходимо покрыть тонким слоем эмульсии, состоящей из 2 весовых частей мыла, 1 части веретенного масла и 4 частей воды.

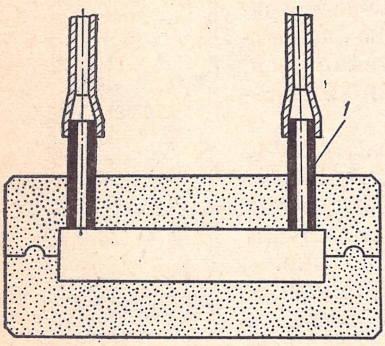


Рис. 83. Конструкция формы для шликерного литья сплошных отливок.

Конструкция форм должна обеспечить легкое извлечение изделий. Формы для простых отливок, например тигля, выполняются цельными, для сложных отливок — из двух или трех частей, центрируемых друг относительно друга. Для предупреждения адсорбции воды из шликера поверхностью заливного отверстия в форме монтируются стеклянные или металлические трубки *1* (рис. 83).

Размеры полости форм выбираются с учетом усадки изделий при спекании, которая достигает 30%.

ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ДОПРЕССОВКИ И КАЛИБРОВАНИЯ, ИХ РАСЧЕТ

Калибрование металлокерамических изделий применяется для получения заданной размерной точности, устранения коробления и некоторых других дефектов, возникающих после спекания.

Основным назначением допрессовки является повышение плотности изделия.

Таким образом, допрессовка и калибрование являются подобными процессами, так как они оба предусматривают упруго-пластическую деформацию материала обрабатываемого изделия после спекания. Различие между этими процессами заключается в том, что при допрессовке материал изделия деформируется в значительно большей степени, чем при калибровании. Отсюда следует, что и усилия, применяющиеся при допрессовке, значительно выше, чем при калибровании.

Применение допрессовки в технологическом процессе изготовления высокоплотных деталей дает возможность снизить давление прессования, что значительно повышает стойкость пресс-форм. По данным Бокштигеля, приведенным в работе [31], плотность допрессованных брикетов из железного порошка, равную 94—95%, можно получить по следующей технологии: прессование с давлением 5000—6000 *дан/см*^{2}, спекание при температуре 850° С в течение 30 минут, допрессовка с давлением 5000—6000 *дан/см*^{2}. При однократном же прессовании и спекании для получения такой плотности необходимо давление 9000—10 000 *дан/см*^{2}. Таким образом, давление прессования снижается примерно в два раза.

Такое различие в величине применяющихся давлений объясняется тем, что в процессе одноразового прессования частицы металлического порошка упрочняются в результате наклепа. Допрессовка же ведется после предварительного спекания, при котором металл подвергается отжигу, снимающему наклеп. Снятие наклепа позволяет осуществлять дальнейшее уплотнение изделия, используя меньшие давления.

Допрессовку и калибрование небольших партий деталей простой формы можно производить на прессах и в пресс-формах обычного типа, которые используются для прессования в единичном и мелкосерийном производствах. Ввиду того что при допрессовке, и особенно при калибровании, величина рабочих ходов движущихся частей пресса или пресс-формы значительно меньше, чем при прессовании, в массовом производстве целесообразно использовать специальные прессы и пресс-формы. Наиболее экономичными являются механические прессы, имеющие высокую производительность.

При выборе пресса для калибрования необходимо, чтобы величина хода плунжера превышала высоту калибруемого изделия не менее, чем в 4—6 раз.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ДОПРЕССОВКИ И КАЛИБРОВАНИЯ

Пресс-формы для допрессовки и калибрования проектируются по единым принципам.

Ниже приводятся основные положения, которые необходимо учитывать при конструировании допрессовочных и калибровочных пресс-форм.

1. Калибровочный и допрессовочный инструменты (матрица, пуансоны, стержни) должны конструироваться из условия обеспечения их максимальной жесткости, так как упругая деформация

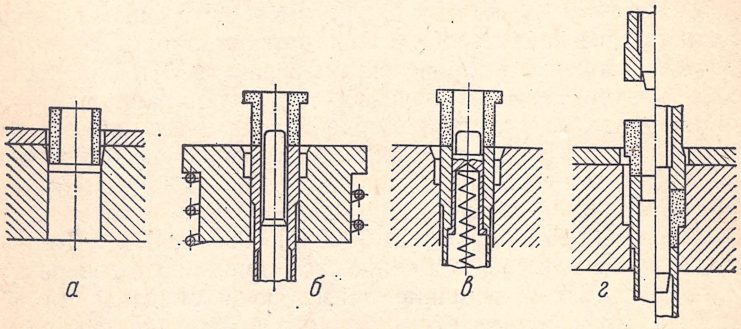


Рис. 84. Способы установки калибруемых изделий:
а — с гладкой наружной поверхностью; *б, в* — с низким наружным буртом; *г* — с высоким наружным буртом.

инструмента оказывает значительное влияние на конечные размеры изделия.

2. Конструкция пресс-форм, особенно для допрессовки, должна быть по возможности проще, с минимальным числом движущихся частей, так как наличие зазоров способствует получению эксцентричных изделий.

3. Пресс-формы должны иметь устройства, обеспечивающие точную установку изделий и их устойчивость в начале процесса допрессовки и калибрования. Для изделий с гладкой наружной поверхностью следует применять установочные плиты (рис. 84, *а*). Для изделий с переходами по высоте способ центрирования зависит от формы изделия и размеров переходов. На рис. 84, *б, в, г* показаны способы центрирования втулок с наружным буртом. Если высота бурта мала по отношению к высоте втулки, центрирование производят по центральному стержню. При необходимости применения нижнего закрепленного центрального стержня уста-

новка втулки производится по выступающей над матрицей части стержня, диаметр которой несколько меньше диаметра самого стержня (рис. 84, *б*). При верхнем подвижном центральном стержне установка втулки производится по ложному плавающему нижнему стержню (рис. 84, *в*). Для втулок с высоким буртом центрирование производится в установочной плите по наружному размеру бурта (рис. 84, *г*).

4. Размеры наружных поверхностей следует калибровать раньше, чем отверстий, чтобы предотвратить образование трещин в изделиях.

5. Откалиброванная поверхность должна находиться в контакте с соответствующей калибрующей поверхностью инструмента, пока не закончится последняя стадия калибрования.

6. В допрессовочных пресс-формах для изделий сложной формы (с переходами по высоте) в целях обеспечения равномерной плотности необходимо предусматривать пуансоны отдельно для каждого перехода, если последние имеют различные припуски на обжатие. Желательно применение плавающих матриц. Например, заготовку рамки штангенциркуля, имеющую пять переходов по высоте, с соответствующими припусками на допрессовку, обжимают при допрессовке одним верхним пуансоном и четырьмя нижними (рис. 85).

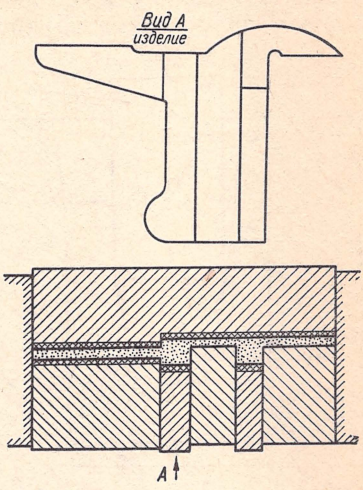


Рис. 85. Схема допрессовки изделия сложной формы.

7. При конструировании калибровочных пресс-форм целесообразно применять схемы калибрования, обеспечивающие последовательную обработку поверхностей изделия. Это дает возможность снизить усилие калибрования. Конструктивное оформление пресс-форм должно также способствовать снижению усилия калибрования.

НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УСИЛИЕ КАЛИБРОВАНИЯ

Входная кромка. Калибрование и допрессовка вызывают упругую и пластическую деформации изделия за счет уменьшения или увеличения его размеров. Если изделие калибруется за счет умень-

шения его поперечных размеров (с положительным припуском), то усилие калибрования делится на две части: усилие обжатия вертикальных поверхностей, когда изделие вталкивается в матрицу, и усилие обжатия по высоте.

Усилие, затрачиваемое на обжатие вертикальных поверхностей, зависит, с одной стороны, от материала изделий и его плотности, смазки, припуска на калибрование, чистоты обработки поверхностей матрицы и стержня, а с другой — от формы входных кромок матрицы и стержня. Правильно выбранная форма входных кромок может значительно уменьшить усилие обжатия изделия. Кроме того, форма входной кромки влияет на качество обработки поверхности изделия.

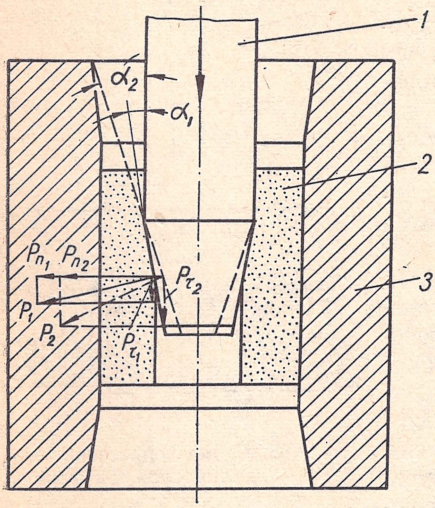


Рис. 86. Схема сил, действующих при калибровании:

1 — стержень; *2* — калибруемое изделие; *3* — матрица.

Входная кромка часто выполняется конусной. Угол наклона выбирается в пределах 1—2°. Место перехода от конусной поверхности к цилиндрической скругляется по радиусу, величина которого приблизительно равна высоте рабочей части кромки.

Из схемы сил, действующих при калибровании внутреннего диаметра подшипника (рис. 86), видно, что с увеличением угла наклона образующей конусной поверхности входной кромки относительное значение сдвигающих усилий ($P\tau$) возрастает, а величина нормальных (уплотняющих) сил (P_n) соответственно уменьшается. Аналогично этому возникают силы, обусловливающие напряженное состояние материала в поверхностных слоях при калибровании наружной поверхности.

Опыты показали, что в случае применения больших (выше 3°) углов наклона входных кромок матрицы и стержня сдвигающая составляющая усилия калибрования настолько возрастает, что это приводит к разрыхлению поверхностных слоев материала и даже к появлению сквозных поясных трещин в стенках калибруемых подшипников.

Тейлор [42] рекомендует применение скругленной входной кромки, причем радиус скругления принимается

$$R = 40\delta, \tag{88}$$

где δ — калибровочный припуск на сторону.

Величина обжатия изделия пропорциональна углу наклона кромки, т. е. величине угла между касательной к радиусной поверхности кромки и образующей цилиндрической поверхности матрицы или стержня. Для скругленной входной кромки этот угол является величиной переменной, имеющей максимальное значение в верхней части кромки и равной нулю в ее нижней части. В связи с этим доля припуска по мере уплотнения уменьшается, а нормальная составляющая усилия калибрования остается приблизительно постоянной.

В случае применения конусной входной кромки обжатие изделия происходит равномерно по мере движения вдоль ее рабочей части, а нормальная составляющая усилия калибрования повышается от верхней части кромки к нижней. Поэтому входную кромку матриц и стержней калибровочных пресс-форм предпочтительнее делать скругленной, хотя с технологической точки зрения изготовить ее трудней, чем конусную.

Припуск на калибрование должен быть минимальным, чтобы не увеличивать усилие калибрования.

Припуски необходимо рассчитывать для каждого изделия отдельно. Но во всех случаях необходимо, чтобы величина уплотнения изделия при калибровании изменялась не более чем на 1—3%.

Ниже приводятся примеры расчета припусков на калибрование наружного и внутреннего диаметров изделий типа втулки.

Если отношение плотности спеченного изделия $\gamma_{сп}$ к плотности калиброванного $\gamma_к$ равно A, то можно записать

$$A = \frac{\gamma_{сп}}{\gamma_к} = \frac{V_к}{V_{сп}}, \tag{89}$$

где $V_к$ и $V_{сп}$ — соответственно объем калиброванного и спеченного изделий.

Выражая объем втулки через наружный диаметр и толщину стенки, получаем:

$$\frac{(D - s)\,s}{(D_1 - s_1)s_1} = A, \tag{90}$$

где D и D_1 — наружные диаметры втулки соответственно после и до калибрования;

s и s_1 — толщины стенки втулки соответственно после и до калибрования.

Пусть отношение припусков на внутренний и наружный диаметры втулки равно a, т. е. $\frac{П_{к.\,в}}{П_{к.\,н}} = a$.

Для втулок с положительными припусками на наружный и внутренний диаметры отношение a следует принимать равным 1. Тогда $П_{к.\,в} = П_{к.\,н} = П_к$. Это обеспечит равномерное обжатие втулки по обоим диаметрам. В этом случае

$$D_1 = D + П_к;\ s_1 = s + П_к.$$

Подставляя полученные значения D_1 и s_1 в уравнение (90), находим

$$\frac{s}{s + П_к} = A,$$

откуда

$$П_к = s\left(\frac{1}{A} - 1\right). \qquad (91)$$

При калибровании втулки с положительным припуском на наружном диаметре и отрицательным на внутреннем отношение a для обеспечения обжатия втулки по внутреннему диаметру должно быть меньше 1. Припуск на наружный диаметр распределяется при обжатии таким образом, что часть его идет на выбор зазора между втулкой и стержнем, а другая часть — на уплотнение втулки. Поэтому отношение a должно быть по возможности минимальным, и для обеспечения свободного входа стержня в отверстие втулки перед калиброванием примем $a = 0{,}1$.

В этом случае

$$D_1 = D + П_к;$$
$$s_1 = s + 0{,}45\,П_к.$$

Подставив полученные значения D_1 и s_1 в уравнение (90) и решая его относительно $П_к$, получим

$$П_к = \sqrt{1{,}02\,(D + 0{,}202s - 0{,}1)^2 + 4\,(D - s)\,s\left(\frac{1}{A} - 1\right)} - \\ - 1{,}01\,(D + 0{,}202s - 0{,}1). \qquad (92)$$

Втулки с отрицательными припусками на наружный и внутренний диаметры калибруются за счет обжатия по высоте. Величина A, определяющая изменение плотности при калибровании, в этом

случае зависит как от изменения диаметров втулки, так и от изменения высоты, т. е.

$$\frac{(D-s)\,s\,H}{(D_1-s_1)s_1H_1}=A, \tag{93}$$

где H и H_1 — высота втулки соответственно после и до калибрования.

Предположим, что втулка принимает размеры D и s при обжатии по высоте на величину δ_1, еще сохраняя при этом свой объем, равный исходному. Высота втулки становится равной величине H_2. Дальнейшее обжатие, сопровождающееся увеличением плотности, будет происходить при неизменных D и s, и тогда A зависит только от изменения высоты втулки. Общая величина обжатия по высоте $\delta = c\delta_1$, где $c > 1$. Принимаем $c = 2$. Использовав указанные условия, с помощью уравнения (93) можно составить систему уравнений

$$\frac{sH_2}{(s-\Pi_к)(H_2+\delta_1)}=1;$$

$$\frac{H}{H_2}=A;$$

$$H_2=H+\delta_1.$$

Решая ее относительно $\Pi_к$, получаем

$$\Pi_к=\frac{1-A}{2-A}s. \tag{94}$$

Чистота поверхности инструмента. Тщательно обработанная поверхность матрицы ($\nabla 12 - \nabla 14$) снижает усилие калибрования и уменьшает износ самой матрицы. Если при входе изделия в матрицу наибольший износ получается на входных кромках матрицы и стержня, то при выталкивании больше всего изнашиваются их боковые поверхности.

В конце процесса калибрования или допрессовки, когда изделие обжимается верхним и нижним пуансонами, металл затекает во все микронеровности поверхностей матрицы и стержня. Явление «схватывания» поверхностей изделия и инструмента обусловливает сильный износ инструмента при выталкивании в случае некачественной обработки его поверхности.

От чистоты обработки поверхности инструмента также зависит и чистота поверхности откалиброванного или допрессованного изделия.

Смазка инструмента и изделий. При калибровании и допрессовке применяют следующие способы смазки:

1) смазка поверхности изделия перед калиброванием жидким распыленным маслом при перемещении его через центр кольца или системы колец, сделанных из трубы и имеющих на внутренней поверхности отверстия, к которым подается под давлением масло;

2) сухая смазка поверхности изделия во вращающемся барабане. В качестве смазки применяется стеарат цинка. От избытка смазки изделия освобождаются на ситах. Этот способ дает удовлетворительные результаты, если необходимо смазывать только наружные поверхности, так как внутренние трудно очистить от лишней смазки;

3) пропитка изделия маслом. В этом случае масло, заполнившее поры, не позволяет калибровать изделие по высоте, и калибрование возможно только по горизонтальному сечению;

4) смазка рабочих поверхностей матрицы и стержня жидким маслом. Этот способ имеет наибольшее преимущество, так как исключается необходимость в дополнительной технологической операции.

Конструкция смазывающего приспособления зависит от размеров и конструкции инструмента.

КАЛИБРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ I, II И III ГРУПП СЛОЖНОСТИ

Наиболее распространенными деталями, подвергающимися калиброванию, являются металлокерамические цилиндрические подшипники. Существует несколько схем их калибрования:

1) одновременное калибрование наружного и внутреннего диаметров подшипника неподвижными матрицей и стержнем;

2) раздельное калибрование сначала наружного, а затем внутреннего диаметров подшипника;

3) одновременное калибрование наружного и внутреннего диаметров подшипника за счет обжатия подшипника вокруг подвижного центрального стержня.

Вторая схема позволяет до минимума уменьшить усилие калибрования. Но для получения хороших эксплуатационных свойств подшипника в комплексе (прочная посадка в корпусе, отсутствие затертых устьев пор при калибровании, хорошая чистота поверхности) наилучшей будет третья схема, используемая в автоматических гидравлических калибровочных прессах со следующими последовательными ступенями операционного цикла (рис. 87):

а) исходное положение движущихся частей инструмента перед началом цикла (рис. 87, *а*): ползун пресса с иглой *1* и пуансоном *2* находится в верхнем положении; выталкиватель *4* находится также в верхнем положении на упорах. Матрица *3* неподвижна во время работы пресса. Калибруемая втулка устанавливается на выталкиватель специальным грейферным механизмом;

б) после отвода грейферного механизма из рабочей зоны пресса выталкиватель *4* опускается в нижнее положение на регулируемые опоры (рис. 87, *б*);

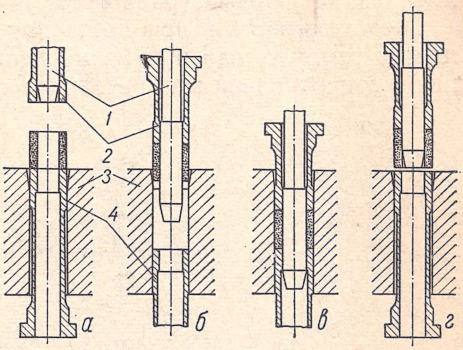


Рис. 87. Последовательность калибрования втулок на прессе.

в) ползун пресса опускается вниз. При этом отверстие втулки прошивается иглой. Игла входит в отверстие с некоторым гарантированным зазором, чтобы исключить в этот момент калибрование внутреннего диаметра и появление усилий, могущих разорвать втулку. Верхний пуансон упирается в торец втулки и вводит ее в матрицу. Производится одновременное калибрование по наружному и внутреннему диаметрам. В конце хода в матрице втулка опирается на выталкиватель, производится калибрование по высоте (рис. 87, *в*);

г) выталкивание втулки производится вверх выталкивателем, причем движение вверх выталкивателя и ползуна происходит синхронно, с одинаковой скоростью, а игла при выталкивании относительно втулки не перемещается. Затем, после выхода втулки из матрицы (рис. 87, *г*) производится ускоренный отвод ползуна совместно с иглой вверх, при этом верхний пуансон остается на месте, способствуя снятию втулки с иглы.

После окончания этой операции цикл повторяется.

К металлокерамическим подшипникам предъявляются очень жесткие требования в отношении точности их изготовления. Иногда пределы допусков на размер внутреннего отверстия настолько малы, что возникает необходимость в дополнительном калибровании отверстия после запрессовки подшипника в корпус. Эта операция обычно выполняется закаленными стальными шарами. По данным работы [10], при калибровании отверстия шестерен из смеси медного и железного порошков была достигнута точность $\pm 0{,}0125$ *мм*.

В работе [42] отмечается, что получение более высокой точности (0,005—0,007 *мм*) возможно при выполнении следующих условий:

1) обычное калибрование подшипника до запрессовки в корпус должно быть выполнено с максимально возможной точностью;

2) на подшипнике после сборки должен остаться припуск на калибрование шарами, равный 0,01—0,02 *мм*.

Необходимость в использовании столь малого припуска объясняется тем, что шар при калибровании следует по линии наименьшего сопротивления и не может обеспечить получения прямого отверстия при большом припуске. Этим же объясняется применение этого способа калибрования только для низких изделий.

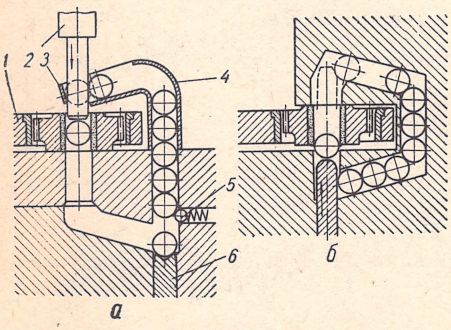


Рис. 88. Калибрование стальными шариками:
а — с использованием хода верхнего пуансона;
б — с использованием хода нижнего пуансона.

На рис. 88, *а* показана конструкция инструмента, который можно установить в прессе, имеющем плунжер и выталкиватель с механическим приводом. Роторный барабан *1* подает изделие под пуансон *2*, закрепленный на плунжере. Пуансон проталкивает шарик через отверстие и отводится вверх. Шарики в рабочую зону подаются выталкивателем *6* по трубе *4*. От выпадания из трубы они удерживаются пружинными замками *3* и *5*.

На рис. 88, *б* показана схема калибрования с использованием движения только одного выталкивателя. Как и в первом случае, изделие в рабочую зону подается роторным барабаном. Калибрование производится снизу.

К металлокерамическим подшипникам предъявляются жесткие требования и в отношении обеспечения концентричности диаметров. Вопросу концентричности необходимо уделять должное внимание еще при прессовании изделий, так как ни один из методов калибрования не позволяет устранить полученную при прессовании разностенность подшипника.

КАЛИБРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ IV И V ГРУПП СЛОЖНОСТИ

Процессы калибрования и допрессовки некоторых изделий сложной формы имеют специфические особенности, которые необходимо учитывать при проектировании пресс-форм.

На рис. 89 показаны изделия, форма которых в плане несимметрична по отношению к одной из осей. Если при калибровании или допрессовке расположить изделие таким образом, чтобы вертикальная ось его цилиндрической части совпадала с осью плунжера пресса, то по сечению изделия рабочее давление будет распределяться неравномерно. В результате изделие после калибрования или допрессовки будет иметь непараллельные торцы. Чтобы избежать этого, необходимо определить такое положение горизонтальных осевых линий, при котором изделие в плане будет разделено на части, равные по площади. Точку пересечения осей, условно названную центром давления (рис. 89, *а*), следует совмещать с центральной осью плунжера пресса.

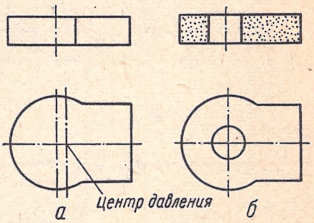


Рис. 89. Изделия со смещенным центром давления.

Однако это указание не следует принимать как правило во всех случаях. Для детали, показанной на рис. 89, *б*, более выгодным будет расположение, при котором ось стержня, калибрующего отверстие, будет совпадать с осью плунжера. В противном случае отверстие может получиться непрямолинейным.

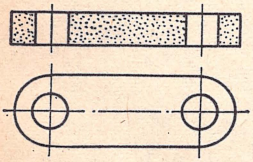


Рис. 90. Изделие с параллельными отверстиями.

Для изделия с параллельными отверстиями (рис. 90) трудность заключается в том, чтобы точно выдержать допуск на параллельность отверстий. Стержни, закрепленные на одном основании, обычно обладают малой жесткостью и могут отклоняться от своего положения в случае неточного совпадения с отверстиями в изделии. В этом случае отверстия после калибрования или допрессовки будут непараллельными. Поэтому при проектировании пресс-форм необходимо устанавливать жесткий допуск на межцентровое расстояние между стержнями, а размер между центрами отверстий тщательно контролировать при операциях прессования и спекания.

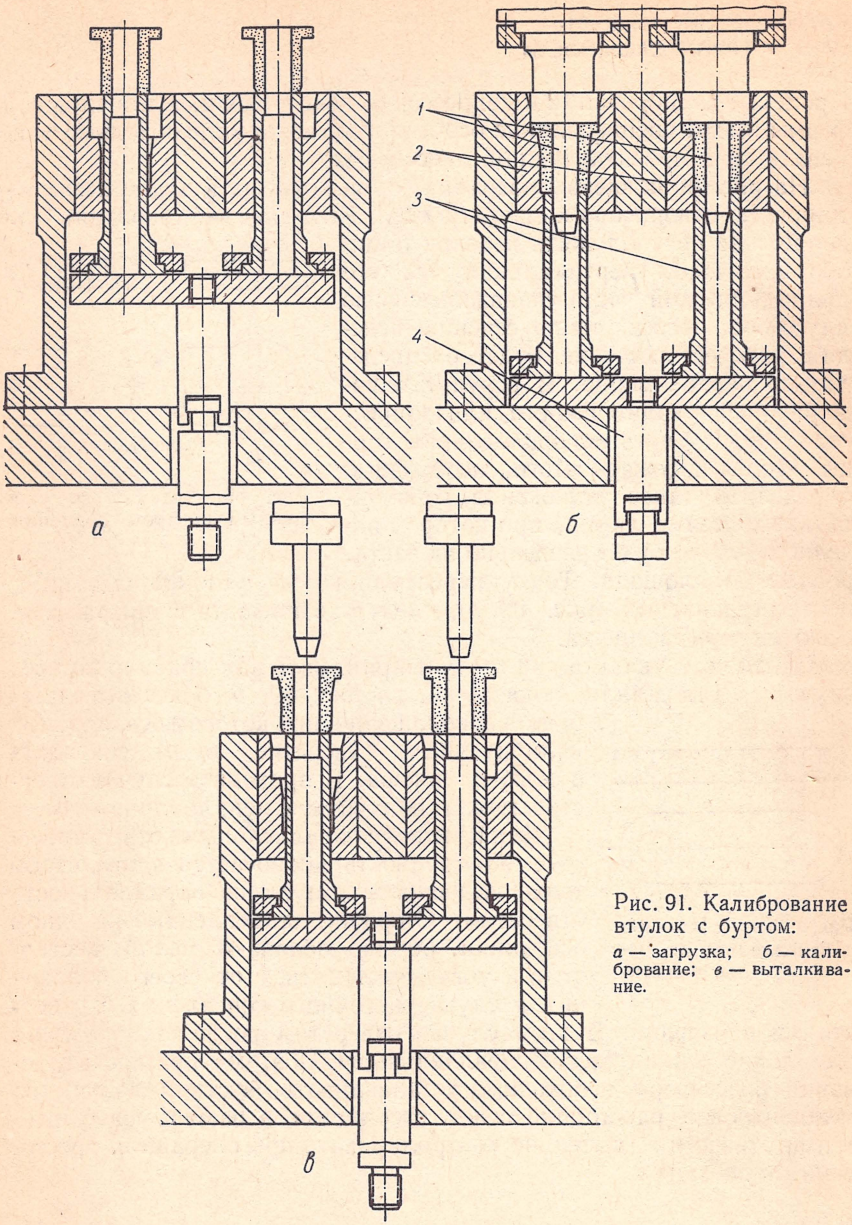
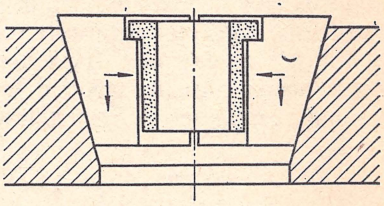


Рис. 91. Калибрование втулок с буртом:
а — загрузка; *б* — калибрование; *в* — выталкивание.

Сложность процесса калибрования втулок с буртом заключается в том, что входная кромка калибровочной матрицы, скошенная под углом 1,5—2°, не позволяет откалибровать место перехода с цилиндрической части втулки на бурт. Ниже описывается способ калибрования втулок с буртом, позволяющий преодолеть эту трудность. Калибрование осуществляется в две операции. При первой калибруют нижнюю часть втулки по наружному диаметру с образованием фаски на торце втулки, если таковая отсутствует, и конуса в месте перехода втулка—бурт, а при второй — производят окончательное калибрование втулки по всей длине, причем образованный в верхней части конус дает возможность обойтись без входной кромки в матрице.



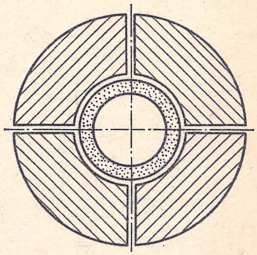


Рис. 92. Схема калибрования втулок с буртом боковым обжатием.

На рис. 91 представлена схема процесса калибрования по этому методу. В матрице, расположенной слева, производится первая операция, в расположенной справа — вторая операция. Спеченная прессовка и деталь, подготовленная к окончательной калибровке, устанавливаются на нижние пуансоны *3*, находящиеся в верхнем положении. При ходе ползуна пресса вниз втулки вводятся в матрицы *2*, обжимаясь вокруг стержней *1*. Отверстия изделий должны иметь отрицательный припуск на калибрование, чтобы стержни могли свободно войти в отверстия, прежде чем начнется калибрование наружной поверхности. Изделия выталкиваются вверх нижними пуансонами *3*, закрепленными на выталкивателе *4*.

Описанные операции можно выполнять раздельно на двух прессах, на каждом из которых установлена только одна матрица.

В работе [25] предложен метод калибрования боковым обжатием, при котором входная кромка на матрице отсутствует. Обжатие осуществляется разрезной клиновой матрицей (рис. 92), имеющей относительно большой угол наклона образующей конической поверхности. Матрица состоит из 4 клиньев. При установке втулки матрица находится в разведенном состоянии за счет усилия пружин, устанавливаемых под клиньями. Недостаток этого метода

заключается в том, что материал втулки может «вытекать» в зазор между клиньями. Для обеспечения полного соприкосновения клиньев острые вертикальные внутренние кромки клиньев должны быть скруглены или скошены, а для устранения оставшихся на поверхности втулки следов, если они значительные и влияют на прочность соединения с каркасом, ее следует прокалибровать еще раз, предварительно повернув на угол 30—45°.

Отпадает необходимость в использовании входной кромки, если применить систему отрицательных припусков на наружный и внутренний диаметры. Изделие, имея необходимый зазор с матрицей и стержнем по всей длине,

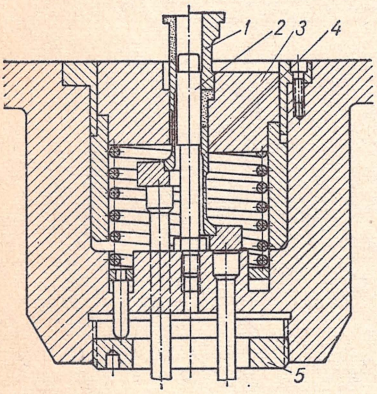


Рис. 93. Пресс-форма для калибрования втулки с буртом обжатием на высоте.

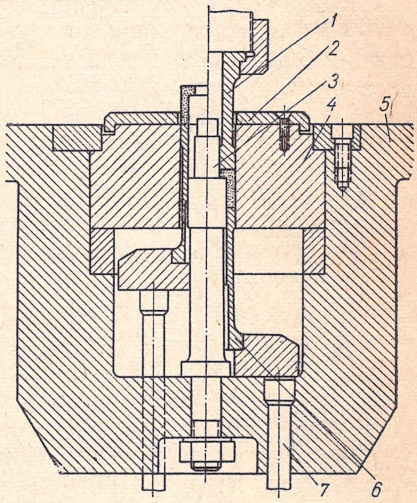


Рис. 94. Пресс-форма для калибрования втулки с внутренним буртом.

включая бурт, свободно вводится в калибрующую полость, а затем обжимается по высоте. Таким же способом выполняется допрессовка втулок с буртом. В этих случаях матрица должна выполняться плавающей. Если использовать неподвижную матрицу, то после установки детали на нижний пуансон, который находится в нижнем положении, между буртом и матрицей остается зазор, равный по величине припуску на калибрование или допрессовку по высоте. При обжатии металл будет выпучиваться в зазор, и в результате изделие окажется испорченным.

На рис. 93 показана конструкция пресс-формы с плавающей матрицей. Калибруемая втулка устанавливается на нижний пуан-

сон *4*, центрируясь по стержню *2*. Верхним пуансоном *1* она свободно вводится в матрицу *3*, имея зазоры по внутренней и наружной поверхностям. Бурт втулки упирается в соответствующий выступ матрицы, нижний торец втулки имеет зазор с торцом нижнего пуансона, который в это время находится в нижнем крайнем положении. При дальнейшем движении верхнего пуансона вниз бурт втулки заставляет двигаться вниз подпружиненную матрицу. Когда втулка коснется нижнего пуансона, начинается обжатие. Выталкивается втулка нижним пуансоном. Усилие пружины регулируется гайкой *5*.

На рис. 94 показана конструкция пресс-формы для калибрования втулки с внутренним буртом. Изделие устанавливается на нижний пуансон *6*, центрируясь по установочной плите *2*. Ступенчатый центральный стержень *3* жестко прикреплен к обойме *5*. При ходе верхнего пуансона *1* вниз сначала калибруется наружная поверхность втулки, а затем — внутренняя. Изделие выталкивается из матрицы *4* нижним пуансоном *6*, приводящимся в движение от механизма выталкивателя через штанги *7*.

КАЛИБРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ VI И VII ГРУПП СЛОЖНОСТИ

К этим группам сложности относятся сферические металлокерамические подшипники и изделия, имеющие несколько переходов по высоте.

На рис. 95 представлена схема калибрования сферического подшипника. При установке на выталкиватель *5* подшипник центрируется центральным стержнем *2*. Центрирование должно быть очень точным, так как небольшое смещение подшипника приведет к тому, что кромка верхнего пуансона *1* встретится с переходной кромкой подшипника, а это вызовет перекос и разрушение последнего. Точность центрирования осложняется тем, что при спекании внутренняя поверхность может коробиться из-за переменной толщины стенки подшипника.

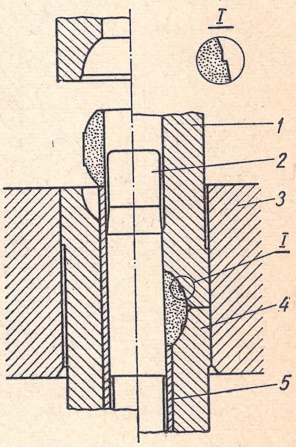


Рис. 95. Схема калибрования сферического подшипника.

Чтобы устранить опасность разрушения, на торцовой кромке сферической полости верхнего пуансона *1* следует предусматривать

скругления и небольшой скос. Обжатие подшипника производится пуансонами *1* и *4*, соосность которых обеспечивается матрицей *3*.

Спрессованный подшипник (перед калиброванием) в средней части имеет цилиндрический поясок. Такая форма подшипника предопределяет особенности процесса обжатия. В начале обжатия подшипник соприкасается с верхним *1* и нижним *4* пуансонами только переходными кромками. При обжатии материал подшипника свободно деформируется и, при неправильном расчете высот изделия и внутренней полости пуансонов, может выдавливаться в зазор между пуансонами. Такое затекание металла в зазор приводит к поломке инструмента.

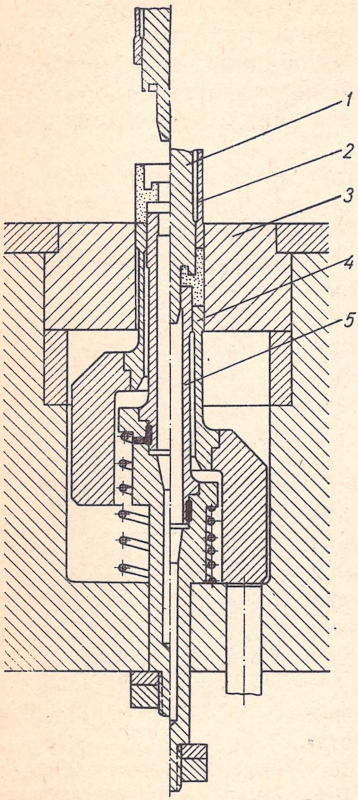


Рис. 96. Пресс-форма для калибрования изделия с переходами по высоте.

После обжатия подшипника на наружной поверхности обычно остаются небольшие кольцевые впадины (рис. 95, место I) в связи с тем, что металл в сферической и цилиндрической частях поверхности деформируется быстрее, чем в месте перехода.

На рис. 96 показана конструкция пресс-формы для калибрования изделия, имеющего несколько переходов по высоте, производимого на двухходовом прессе с выталкивателем. При установке изделие центрируется плавающим пуансоном.

В начале цикла изделие прошивается верхним стержнем *1*. В матрицу *3* изделие вводится верхним пуансоном *2*, который движется синхронно со стержнем *1*. Изделие движется вниз до упора в пуансоны *4* и *5*, и после этого начинается обжатие по высоте. В данном случае рекомендуется применять систему отрицательных припусков по всем поверхностям, чтобы исключить необходимость в заходных конусах. Перед выталкиванием стержень *1* и пуансон *2* отводятся вверх, а выталкивание осуществляется пуансоном *4*. Пуансон *5* выполнен плавающим для уменьшения износа его рабочей части.

Определение размеров пресс-форм. Общая высота матрицы определяется как

$$H_м = H_{сп} + h_в + h_н, \qquad (95)$$

где $H_{сп}$ — высота изделия после спекания;
$h_в$ — величина захода в матрицу верхнего пуансона;
$h_н$ — величина захода в матрицу нижнего пуансона.

Высота изделия после спекания рассчитывается по формулам, приведенным в табл. 4.

Величина захода назначается из конструктивных соображений, но должна быть не ниже 10 *мм*.

Размеры рабочей полости матрицы и размеры стержня определяются по формулам, приведенным в табл. 5.

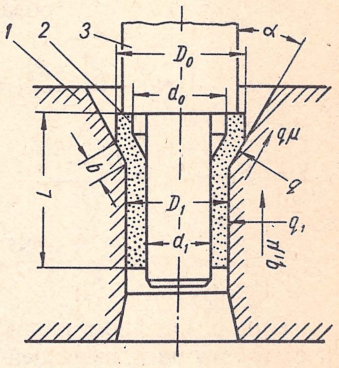


Рис. 97. Схема к расчету усилия калибрования: *1* — матрица; *2* — изделие; *3* — пуансон.

Расчет деталей пресс-форм на прочность. Процессы допрессовки и калибрования в настоящее время изучены недостаточно. В литературе отсутствуют данные о боковых давлениях, величины которых необходимы для расчета матриц. Имеются самые противоречивые мнения по вопросу выбора величин усилия допрессовки и калибрования. В работе [31] указывается, что величина усилий калибрования не превышает 10—25% усилия прессования соответствующей детали. Другого мнения придерживается Де Гроат [10], который считает, что давления при допрессовке и калибровании должны быть на 50—60% выше, чем при прессовании соответствующей детали. По данным Бокштигеля при допрессовке изделий из железного порошка следует применять те же давления, что и при прессовании.

В работе [2] приведена формула для определения усилия калибрования пористых втулок

$$P = q(\Delta S + \mu Q) + 0{,}58\sigma\alpha S_2. \qquad (96)$$

Для случая, когда калибруется втулка с положительным припуском на наружном диаметре и отрицательным — на внутреннем (рис. 97),

среднее давление в зоне калибрования определяют по формуле

$$q = \frac{\sigma}{1 + \frac{\Delta S}{2S_2}\left(1 - \frac{\mu}{\alpha}\right)}. \qquad (97)$$

В этих формулах σ — сопротивление калибруемого материала пластической деформации в условиях трехосного сжатия;

μ — коэффициент внешнего трения в зоне калибрования;

α — угол заходной кромки матрицы;

$S_2 = \frac{D_1^2 - d_1^2}{4}\pi$ — площадь поперечного сечения откалиброванной втулки;

$\Delta S = S_1 - S_2 = \frac{D_0^2 - D_1^2}{4}\pi$ — изменение площади поперечного сечения втулки в процессе калибрования;

$Q = \frac{\pi b\,(D_0 - D_1)}{2\cos\alpha}$ — рабочая поверхность калибрующей части матрицы.

При раздельном калибровании наружной и внутренней поверхностей втулки, имеющей положительные припуски на обоих диаметрах, формула для определения усилия калибрования имеет вид

$$P = q\,(\Delta S + \mu Q) + 0{,}58\,\sigma_1 \alpha S_2, \qquad (98)$$

где σ_1 — сопротивление материала пластической деформации при одноосном сжатии.

Среднее давление в этом случае подсчитывают по формуле

$$q = \frac{\sigma_1}{1 + \frac{S + \mu Q}{2S_2}}. \qquad (99)$$

Величины усилия калибрования, вычисленные по формуле (96), хорошо совпадают с экспериментальными данными, однако значения σ и σ_1 определены в настоящее время только для втулок, спрессованных из железного порошка.

Наши опыты показали, что усилия при калибровании значительно ниже, а усилия при допрессовке приблизительно равны усилиям при прессовании. Поэтому выбор толщины стенки матрицы можно производить по методике, описанной в разделе расчета пресс-форм для прессования.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕСС-ФОРМ

Пресс-формы для прессования металлических порошков, калибрования и допрессовки металлокерамических изделий можно считать самым сложным типом оснастки, используемой при обработке металлов давлением. Рабочие детали пресс-форм воспринимают высокие нагрузки. Вместе с тем они должны иметь хорошую износостойкость, так как в массовом производстве на одной пресс-форме должны изготавливаться большие количества изделий. Пресс-формы должны обеспечить также высокую точность изготовления деталей.

Конструктивная сложность, большие нагрузки, высокая точность, износостойкость — все эти факторы предопределяют сложность технологического процесса изготовления рабочих деталей пресс-форм. Поэтому цель главы — кратко описать методы, сложившиеся в практике изготовления пресс-форм для порошковой металлургии и обеспечивающие успешную работу пресс-форм в массовом производстве.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРЕСС-ФОРМ

При изготовлении пресс-форм необходимо правильно выдержать допуски на размеры рабочих деталей, обеспечить определенные припуски на износ рабочих поверхностей, оптимальные зазоры между движущимися частями, высокую чистоту обработки сопрягающихся поверхностей рабочих деталей, отсутствие перекосов и заеданий в процессе работы.

Величины допусков на размеры рабочих поверхностей матриц и стержней выбираются из условия получения максимальных припусков на износ этих поверхностей. Как известно, с увеличением поля допуска уменьшается припуск на износ. Поэтому величины допусков должны быть самыми малыми, насколько это еще возможно с точки зрения технологичности механической обработки. С этой целью при назначении допусков следует пользоваться величинами допусков 1—4 квалитетов ISA (табл. 12).

По допускам изготовляются только матрицы и стержни. Пуансоны же подгоняются к ним из условия обеспечения необходимого зазора, который выбирается в зависимости от гранулометрического состава порошка, типа пресса, типа изделия и его размеров.

Таблица 12

Величины допусков для особоточных размеров (по ISA), мкм

Квалитеты (классы точности)	Номинальные диаметры, *мм*												
	1—3	3—6	6—10	10—18	18—30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—250	250—315	315—400	400—500
1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	3	4	5	6	7	8
2	2	2	2	2	2	3	3	4	5	7	8	9	10
3	3	3	3	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
4	4	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20

В целях обеспечения надежной работы инструмента рекомендуются следующие величины зазоров: для диаметра или ширины изделия до 25 *мм* — 12—20 *мкм*, до 50 *мм* — 15—25 *мкм*, свыше 50 *мм* — 0,05% размера изделия.

При изготовлении очень точных по размерам деталей (обычно втулок), особенно если необходимо добиться минимальной разностенности, зазор должен быть 5—10 *мкм*.

Недопустимое увеличение зазора приводит к повышенному износу сопряженных деталей в результате абразивного действия частиц порошка, проникающих в зазор.

Приведенные рекомендации обязательны для использования при массовом производстве, иначе инструмент будет иметь малую стойкость. В опытном производстве, где изготовляются сравнительно небольшие партии деталей, часто используются допуски, соответствующие посадке движения 2-го класса точности и даже ходовой посадке 3-го класса точности. Однако применение указанных посадок допускается при эксплуатации пресс-форм для деталей небольших размеров, когда зазоры еще сравнительно невелики.

В связи с применением очень малых зазоров между сопрягающимися поверхностями последние необходимо обрабатывать до высокой чистоты (12—14-й классы по ГОСТ 2789—59). Высокая чистота обработки необходима также для снижения сил трения, возникающих при прессовании порошка и выталкивании спрессованных изделий.

Рекомендации относительно индивидуальной подгонки рабочих деталей пресс-форм и выбора зазоров, приведенные для формующего инструмента, следует использовать и для калибрующего инструмента. Но если в первом случае столь малые зазоры обусловли-

ваются необходимостью предотвратить попадание частиц порошка между трущимися поверхностями, то при калибровании и допрессовке такие зазоры предотвращают значительное отклонение центральных осей пуансонов и стержней от идеального положения. Любое увеличение как численной величины зазоров, так и их числа (применение лишних подвижных частей) приводит к увеличению эксцентричности изделия.

При изготовлении металлокерамических деталей, особенно если прессование ведется на автоматических механических прессах с повышенными скоростями, наблюдается нагрев матрицы. При нагреве ускоряется износ рабочей поверхности, и на ней могут образоваться задиры. Низкая чистота обработки способствует их появлению. Особенно часто появляются задиры на сопрягающихся поверхностях матрицы и пуансона, формующего бурт (при прессовании втулок с наружным буртом). Пуансон бурта одновременно служит матрицей для тела втулки и подвергается значительному боковому давлению. При низкой чистоте обработки сопрягающихся поверхностей микровыступы поверхности пуансона заходят в микровпадины поверхности матрицы, и при движении пуансона относительно матрицы происходит или механическое разрушение микронеровностей или точечная сварка поверхностей в результате нагрева. Это и является причиной образования задиров. Поэтому сопрягающиеся поверхности рабочих деталей необходимо полировать до зеркального блеска, а матрицу — охлаждать. Охлаждение нагревающейся матрицы исключает также возможное увеличение зазора между рабочими деталями.

Высокую чистоту обработки необходимо предусматривать только для сопрягающихся поверхностей основных рабочих деталей. Для остальных деталей чистота обработки назначается в зависимости от условий их работы в пресс-форме.

После сборки пресс-формы и установки на прессе необходимо убедиться в хорошей подгонке ее деталей, отсутствии перекосов и заеданий при перемещении подвижных частей по направляющим колонкам. Для этого производят проверку в соответствии со следующими техническими требованиями:

1. Отклонение от плоскостности верхней торцовой поверхности матрицы — не более 0,02 *мм* на длине 100 *мм*.

2. Отклонение от параллельности торцовых плоскостей матрицы — не более 0,01 *мм* на длине 100 *мм*.

3. Отклонение от перпендикулярности образующей внутренней поверхности матрицы к верхней торцовой поверхности — не более 0,02 *мм* на длине 100 *мм*.

4. Отклонение от параллельности опорных плоскостей верхнего и нижнего пуансонов и центрального стержня относительно верхней торцовой поверхности матрицы — не более 0,01 *мм* на длине 100 *мм*.

5. Отклонение от параллельности хода прессующего пуансона, выталкивателя и стержня относительно внутренней поверхности матрицы — не более 0,02 *мм* на длине 100 *мм*.

6. Отклонение от перпендикулярности образующих поверхностей направляющих колонок и втулок относительно верхней торцовой поверхности матрицы — не более 0,02 *мм* на длине 100 *мм*.

7. Отклонение от параллельности плоскостей прилегания опорных плит, подставок и т. п.— не более 0,01 *мм* на длине 100 *мм*.

8. Эксцентриситет, конусность и овальность деталей круглого сечения — в пределах допусков на соответствующие диаметры изделия.

КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАБОЧИХ ДЕТАЛЕЙ

Матрицы. Конструкция матрицы определяется формой изделия, величиной давления, которое она воспринимает при работе, схемой прессования. Классификация матриц закрытых пресс-форм для холодного прессования приведена на рис. 98.

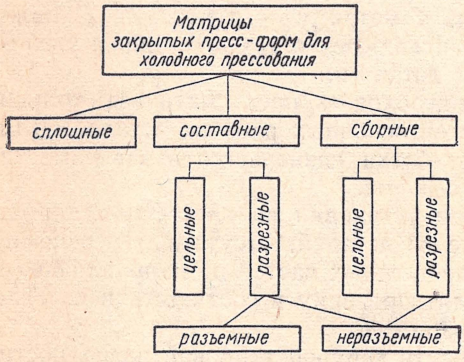


Рис. 98. Классификация матриц для холодного прессования.

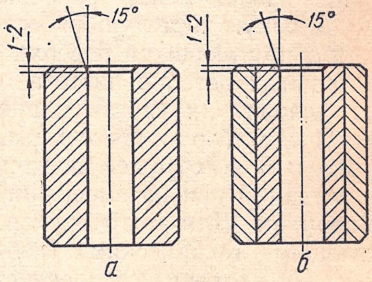


Рис. 99. Матрицы:
а — сплошная; *б* — составная цельная.

Сплошные матрицы (рис. 99, *а*) применяются при небольших нагрузках, составные цельные (рис. 99, *б*) — при больших нагрузках и при необходимости обеспечить жесткость конструкции.

На рис. 100 показаны составные разрезные матрицы. Если изделие извлекается из составной матрицы за счет ее частичной разборки, то такая матрица называется разъемной (рис. 100, *а*, *б*);

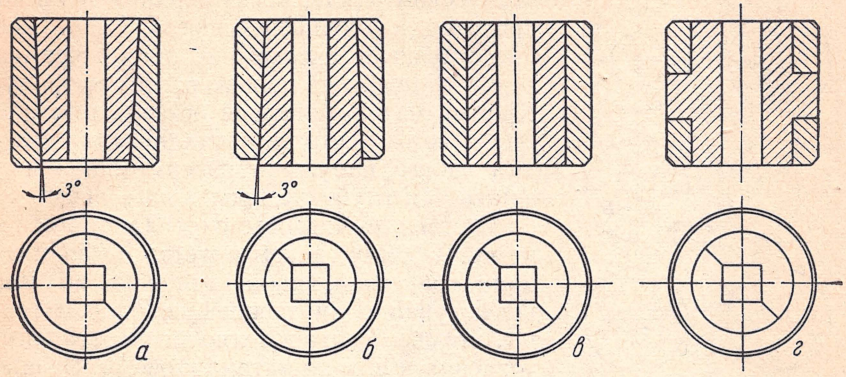


Рис. 100. Разрезные матрицы.

если для извлечения изделия его необходимо выталкивать из матрицы, то последняя называется неразъемной (рис. 100, *в*, *г*).

Отличительной особенностью составных матриц является скрепление ее отдельных частей за счет неподвижных посадок.

Матрицы, у которых отдельные части собираются по подвижным посадкам и скрепляются крепежными деталями (болтами, винтами), называются сборными (рис. 101). Применение сборных матриц обусловливается сложной формой прессуемого изделия. На рис. 101, *а* показана конструкция матрицы для изделия с буртом, имеющим форму шестигранника, а на рис. 101, *б* — для изделия с буртом, имеющим лыски.

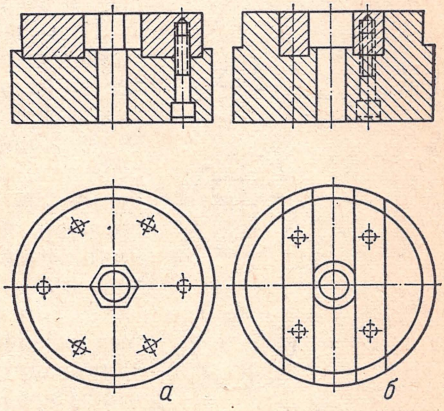


Рис. 101. Сборные матрицы для втулок с буртом сложной конструкции.

Конструктивное оформление сплошных матриц обычно не вызывает затруднений. Входная кромка рабочей поверхности матриц

делается скошенной под углом 15° на длине 1—2 *мм* (такие входные кромки рекомендуется делать для всех матриц). В случае прессования в полуавтоматическом или автоматическом цикле, когда верхний пуансон крепится к плунжеру пресса, такой скос предотвращает скалывание острой кромки верхнего пуансона при его входе в матрицу. Кромку матрицы нельзя оставлять острой еще и потому, что при выталкивании изделия на его наружной поверхности могут оставаться глубокие продольные риски.

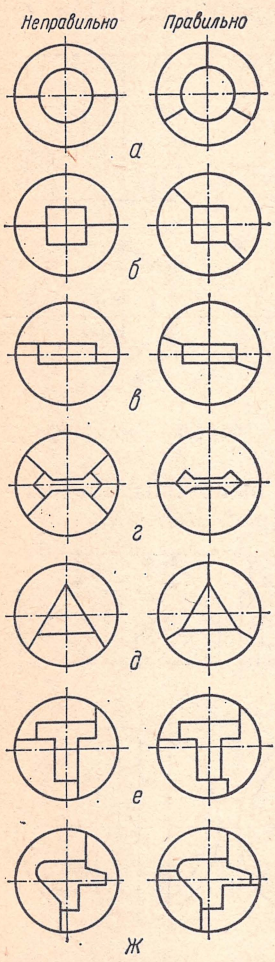


Рис. 102. К выбору места разреза разрезных матриц.

Составные матрицы скрепляются обоймами. Обойму рекомендуется выполнять цилиндрической, какой бы сложной ни была конфигурация внутренней полости матрицы. Это обеспечивает технологичность изготовления и сборки матриц и обойм. Однако в некоторых случаях, например для прямоугольных изделий с отношением поперечных размеров 7 : 1 и более, матрицы и обоймы делают прямоугольными для уменьшения веса пресс-форм.

При конструировании разрезных матриц необходимо правильно выбрать количество разрезов и их места. При этом нужно руководствоваться следующими правилами:

1. Линии разреза должны быть проведены так, чтобы обеспечить свободную разборку секций разрезной матрицы для извлечения детали, которая может в них заклиниваться в результате действия сил упругого последействия (рис. 102, *а*, *б*).

2. Линии разреза в матрицах, из которых извлечение детали производится выталкиванием, должны быть проведены так, чтобы предотвратить образование рисок на боковых поверхностях детали (рис. 102, *б*).

3. Следует избегать в сечении одной секции параллельных линий (рис. 102, *б*, *в*). Это обеспечит возможность восстановления размеров износившейся матрицы с помощью перешлифовки плоскостей разреза, что является самым важным свойством разрезных матриц.

4. При симметричном сечении полости матрицы сечения секций должны быть одинаковыми (рис. 102, *б*, *в*, *г*).

5. Линии разреза должны быть по возможности радиальными. При этом упрощается технологический процесс изготовления разрезной матрицы и обеспечивается удобная подгонка секций (рис. 102, *а*, *б*, *в*, *д*).

6. Линии разреза в матрице для сложной детали, требующей более чем двух секций, должны быть проведены так, чтобы секции, собранные для совместной обработки наружной поверхности, не имели свободы движения друг относительно друга в радиальном направлении (рис. 102, *д*, *е*, *ж*).

7. Линии разреза должны проводиться так, чтобы ни одна секция не имела узких глубоких пазов, труднодоступных для обработки (рис. 102, *ж*).

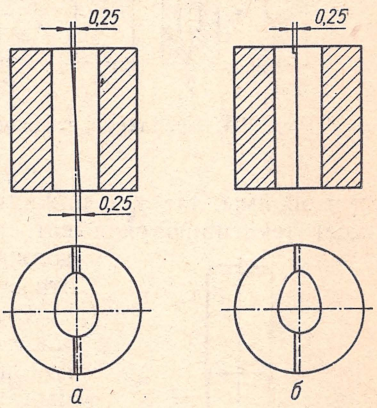


Рис. 103. Конструкции разрезных матриц для кулачков.

Для изделий типа кулачка разрезная матрица изготовляется из двух секций. Чтобы на боковой поверхности изделия не оставались продольные риски, разрез делается по наклонной плоскости (рис. 103, *а*) или выполняется ступенчатым (рис. 103, *б*). Величина скоса или уступа должна быть небольшой (порядка 0,25 *мм*). Уступ делают около торца матрицы, с тем чтобы он не воспринимал нагрузку в процессе прессования.

При конструировании сборных матриц важно правильно осуществить центрирование ее отдельных частей. Центрирование верхних частей матриц относительно нижних должно производиться по поверхностям, формующим боковую поверхность изделия. Такое соединение предотвращает проникновение мелких фракций порошка в пространство между соприкасающимися горизонтальными плоскостями.

Конструктивное оформление твердосплавных матриц имеет ряд особенностей. Ввиду того что твердосплавные матрицы, работающие на растяжение, имеют малую допускаемую деформацию, они обязательно стягиваются стальными обоймами. При конструировании необходимо стремиться к минимальной высоте матрицы, так как высокую твердосплавную матрицу трудно изготовить и обра-

ботать. Высота матрицы должна быть на 12 *мм* больше максимальной высоты засыпки порошка.

В случае применения твердосплавной матрицы для калибрования изделий на проход нижний торец ее должен опираться на вы-

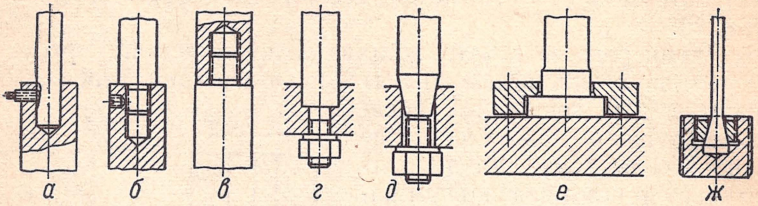


Рис. 104. Крепление стержней.

ступ обоймы, так как нижняя рабочая кромка матрицы при этом имеет тенденцию скалываться. Отверстие опорной части обоймы должно быть на 0,25—0,35 *мм* больше, чем отверстие матрицы.

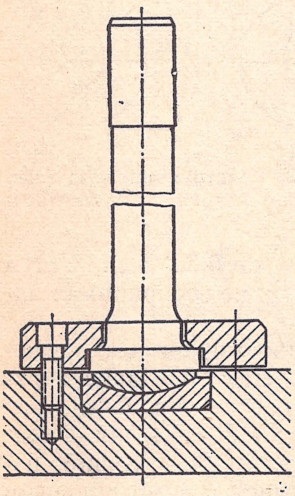


Рис 105. Стержень на шаровой опоре.

Стержни. Заходная кромка стержней так же, как и в матрице, оформляется фаской под углом 15° на длине 1—2 *мм*. Размеры стержня по сечению в той части, которая не соприкасается с порошком, уменьшают на 0,3—0,5 *мм* по отношению к размеру сечения рабочей части. Это обеспечивает свободный отвод частиц порошка, попавших в зазор между пуансоном и стержнем. Кроме того, такое конструктивное оформление снижает стоимость механической обработки стержня.

На рис. 104 показаны варианты крепления стержней. Крепления, показанные на рис. 104, *а*, *б*, *в*, применяются при небольших усилиях выталкивания изделия. В случае крепления стержня в гнезде (рис. 104, *г*, *д*) нижний конец с резьбой обычно оставляют незакаленным или закаливают очень слабо. Чаще всего опорный конец стержня оформляется буртом, а крепление производится фланцем (рис. 104, *е*). Тонкий стержень можно крепить с помощью державки с наружной резьбой (рис. 104, *ж*).

Следует применять, где это возможно, шаровые опоры под стержнем (рис. 105), что исключает перекос стержня при центрировании в пуансоне.

Рабочая часть стержней часто делается из твердого сплава. Такие стержни применяются при больших давлениях прессования, чаще — при калибровочных и допрессовочных операциях.

Если размеры стержня достаточно велики, рабочая твердосплавная часть выполняется в виде втулки, напрессованной на стальной сердечник. При применении стержней малых размеров или с профилем сечения, где указанный метод не применим, твердосплавная часть стержня припаивается к стальной части инструмента. Высокие растягивающие напряжения, возникающие в процессе выталкивания, когда изделие снимается со стержня, часто разрушают место спая. Следует конструировать соединение так, чтобы дать для связи максимальную поверхность (рис. 106). Наилучший вариант соединения показан на рис. 106, *в*, однако он не может быть использован при диаметрах сечения менее 10 *мм*.

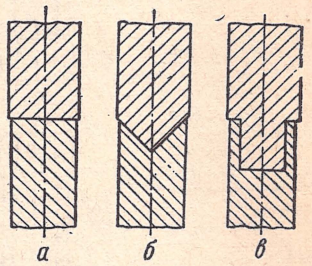


Рис. 106. Крепление твердосплавной (верхней) части стержней:
а — плохой вариант; *б* — улучшенный вариант; *в* — наилучший вариант.

Для повышения износостойкости поверхности стержня при калибровании применяют метод искусственного уменьшения нагрузок на стержень. Для этого используют ступенчатый стержень (рис. 107). Работа калибрования при этом выполняется в несколько стадий, нагрузка на каждую ступеньку уменьшается. Применение стержня с большим числом ступенек увеличивает ход пресса. Использование стержня даже с 2—3 ступеньками дает возможность значительно уменьшить нагрузку на стержень.

Пуансоны, формуя торцы изделия, в основном подвергаются действию сжимающей нагрузки. Длинные пуансоны из-за неточности изготовления и перекосов движущихся частей пресса могут испытывать действие изгибающих нагрузок. В связи с этим пуансоны необходимо делать как можно короче.

Нижний пуансон в конструкциях пресс-форм обычно получается значительно длиннее верхнего. Поэтому опорный торец нижнего пуансона рекомендуется оформлять мощным фланцем с большими радиусами переходов от стержня к фланцу (рис. 108).

Пуансоны нужно проектировать так, чтобы шлифовать и подгонять только их рабочую часть, длина которой определяется из

условия обеспечения центрирования пуансонов в матрице и по стержню. Такая конструкция обеспечивает свободный отвод частиц порошка, накапливающийся в зазоре между пуансоном и стержнем или матрицей. Для этой же цели в верхних пуансонах высверливают радиальное отверстие диаметром 2,5—3 *мм*, которое при наиболее низком положении пуансона должно находиться над матрицей. Если прочность пуансона не позволяет производить сверление его стенок, такое отверстие следует предусмотреть в промежуточной плите, устанавливаемой между пуансоном и плунжером пресса. Через это отверстие выходит также воздух, выдавливаемый из межчастичных пор в порошке при прессовании. При отсутствии такого отверстия порошок будет накапливаться в полости пуансона и может его разорвать.

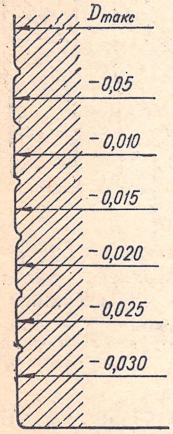


Рис. 107. Профиль калибровочного ступенчатого стержня.

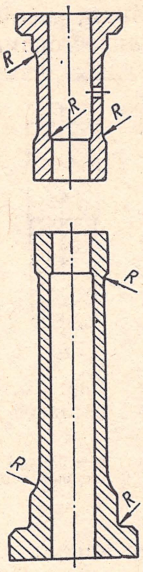


Рис. 108. Конструктивное оформление пуансонов.

Часто с технологической точки зрения при конструировании пуансонов с сечением сложного профиля необходимо предусматривать изготовление профильной части отдельно с последующим креплением ее к съемному основанию. Крепление можно осуществить болтами и штифтами, но иногда толщина стенки пуансона мала для того, чтобы в нем сделать отверстия под болты. На рис. 109 показан вариант крепления тонкостенного пуансона к фланцу посредством разъемного кольца.

На рис. 110 показан способ крепления верхнего пуансона в державке путем армирования легкоплавким припоем. Державка пуансона в этом случае обрабатывается в последнюю очередь с тем, чтобы она была точно сцентрирована с пуансоном.

Если соосность верхнего ползуна, матрицы и выталкивателя гарантируется конструкцией пресса, то крепление пуансонов к подвижным частям пресса делается так, как показано на рис. 111, *а*. В этой конструкции хвостовики пуансонов *2* и *4* входят в отверстие ползуна *1* и выталкивателя *5* по переходной посадке и закрепляются

установочным винтом. В большинстве же случаев пуансоны крепятся зажимной гайкой или фланцем (рис. 111, *б*), что дает возможность центрировать пуансоны в отверстии матрицы независимо от того, обеспечивает ли пресс их соосность.

Рекомендуется крепить пуансоны на шаровых опорах, как показано для стержней на рис. 105. Такое крепление позволяет пуансону самоцентрироваться при наладке инструмента, и отпадает необходимость обеспечивать идеальную перпендикулярность нижнего торца пуансона к его оси.

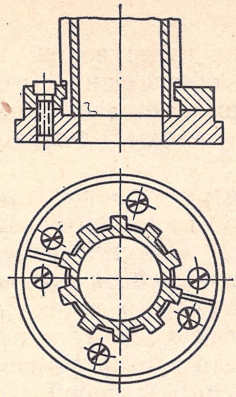


Рис. 109. Крепление тонкостенного пуансона сложного профиля.

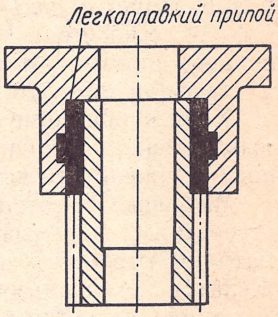


Рис. 110. Крепление верхнего пуансона легкоплавким припоем.

Твердосплавные пуансоны, как и стержни, делаются из двух частей: твердосплавной головки и стальной основы. Головка к пуансону крепится так же, как и к стержню.

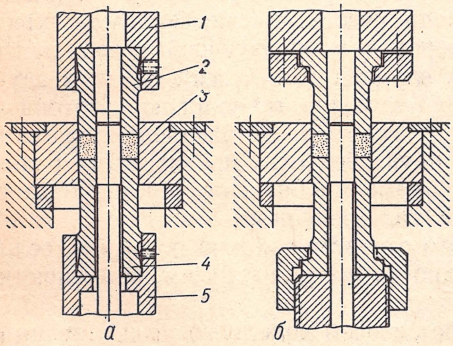


Рис. 111. Крепление пуансонов к подвижным частям пресса:
1 — ползун; *2* — верхний пуансон; *3* — матрица; *4* — нижний пуансон; *5* — выталкиватель.

МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ

Изготовление рабочего инструмента является очень сложным и трудоемким процессом, требующим применения разнообразных станков, специального инструмента, тщательной лекальной обработки и большой затраты квалифицированного труда.

В общем случае изготовление рабочих деталей из инструментальных сталей разделяется на следующие операции:

1) изготовление деталей на металлорежущих станках с припусками под шлифование;

2) термообработка;

3) шлифование;

4) доводка рабочих поверхностей (притирка, хонингование, полирование) с целью обеспечения высокой чистоты поверхности (12—14-го классов). При изготовлении рабочих деталей из твердых сплавов применяются методы ультразвуковой, электроискровой и алмазной обработок.

Хотя в принципе все детали пресс-форм подвергаются указанным операциям, однако для каждого вида деталей (матриц, пуансонов, стержней) имеются свои специфические особенности.

Матрицы. Изготовление сплошных матриц с цилиндрическими отверстиями не вызывает особых трудностей. После термообработки матрицы отверстия шлифуются и полируются или притираются. Желательно использовать притирку, параллельную оси отверстия. Притирка является очень медленной операцией и часто выполняется вручную с использованием тонкой абразивной пасты (карбид бора, алмазная паста) и фасонных притиров. Механическая притирка эффективна только при обработке коротких цилиндрических деталей и плоских поверхностей. Чтобы обеспечить прямолинейность отверстия матрицы, рабочая часть притира должна быть, как минимум, на 25% длиннее отверстия.

При изготовлении в сплошных матрицах отверстий сложной формы возникают трудности, если учесть, что необходимо сохранить прямолинейность оси отверстия и образующей поверхности на большой длине (в некоторых случаях до 200 *мм*). В таких случаях можно избежать трудностей, изменив технологию изготовления матрицы. Если отверстие изготовлять долблением, оставляя припуск 0,075—0,125 *мм* на чистовую обработку протягиванием или прошиванием, то это обеспечит прямолинейность отверстия и дает полную уверенность в точности изготовления.

Точность обработки фасонного отверстия можно повысить, если обработать внутреннюю поверхность матрицы путем применения ряда протяжек.

В последнее время применяют способ холодного выдавливания матриц, заключающийся в том, что инструмент (мастер-пуансон) вдавливается в специально подготовленную заготовку и образует, таким образом, полость заданной формы. Операция производится на гидравлическом прессе. Стоимость изготовления матриц при этом значительно снижается. Особенно выгодно изготовлять таким способом матрицы для прессования конических шестерен.

Точность размеров матрицы, выполненной холодным выдавливанием в центрирующем приспособлении, зависит от точности мастер-пуансона и находится в пределах 2—3-го классов точности.

При изготовлении твердосплавных матриц из пластифицированного или полуспеченного твердого сплава перед окончательным спеканием применяется механическая обработка.

Все большее распространение получает метод горячего прессования твердосплавных изделий в графитовых пресс-формах. Этот метод очень выгоден при изготовлении матриц для изделий сложной формы. Размеры рабочей полости матрицы получаются близкими к окончательным, и операции поверхностной обработки сводятся к минимуму.

Черновую обработку отверстий в спеченных твердосплавных заготовках производят электроискровым методом. Дальнейшую обработку отверстия проводят алмазным шлифованием, которое обеспечивает точность обработки до 1-го класса и чистоту обрабатываемой поверхности до 10—12-го классов. Припуск на шлифование составляет 0,1—0,2 *мм*. При необходимости получить отверстие с более высокой точностью и чистотой обработки применяется ручная доводка пастой с карбидом бора или пастой с алмазным порошком и иногда механическая доводка алмазными притирами. Ручная доводка применяется и при изготовлении отверстий сложного профиля. Шлифовальные и доводочные операции выполняются после запрессовки твердосплавной матрицы в обойму.

При изготовлении матриц с уступами после грубой электроискровой обработки производится чистовая обработка отверстия ультразвуком. Ультразвуковая обработка ведется только после запрессовки твердосплавной матрицы в обойму. Припуск на чистовую обработку не должен превышать 0,02—0,04 *мм* на сторону. Чистота поверхности после ультразвуковой обработки достигает только 9-го класса точности, и поэтому в отдельных случаях требуются доводочные операции. Для сквозных отверстий ультразвуковая обработка, как правило, не применяется, поскольку электроискровая обработка дает более высокую производительность.

При изготовлении составных цельных матриц чистовую обработку отверстий следует начинать после сборки обоймы и матрицы. Для скрепления матриц с обоймами применяются горячая и прессовая посадки.

При изготовлении составных разрезных матриц наибольшая трудность заключается в точной подгонке секций матрицы. Сопрягающиеся поверхности секций и обоймы должны быть цилиндрическими, если матрица неразъемная, или коническими, если выпрес-

совка осуществляется за счет разъема секций. Для получения точного размера наружные посадочные поверхности секций шлифуются в сборе.

В случае износа рабочей поверхности выше допустимого предела плоскости разъема секций матрицы перешлифовываются с целью получения точных размеров ее полости. Наружная поверхность матрицы также перешлифовывается. Ее размеры согласовываются с соответствующими размерами посадочной поверхности вновь изготовленной обоймы.

Пуансоны и стержни. Рабочая поверхность стержней и пуансонов, как и матриц, должна быть отшлифована и притерта.

Верхний и нижний пуансоны целесообразно изготавливать совместно из одной заготовки, которая после обработки резанием подвергается закалке, шлифованию, полированию. Затем заготовку разрезают на два пуансона карборундовым кругом, шлифуют торцы и выполняют углубления, если они необходимы. Одновременное изготовление обоих пуансонов повышает их точность, соосность и снижает стоимость. Особенно целесообразна такая обработка при изготовлении пуансонов сложной формы, например для прессования шестерен.

Пуансоны сложной формы с плоским рабочим торцом желательно изготавливать несколько длиннее, чем это необходимо, чтобы при выкрашивании рабочего торца можно было его обрезать и перешлифовать. Этим устраняется необходимость изготовления нового пуансона.

Изготовление стержней круглого сечения не представляет затруднений, за исключением случаев, когда необходимы очень длинные стержни. Термообработку таких стержней нужно проводить очень тщательно для предотвращения деформации.

Шлифование рабочей поверхности стержней и пуансонов с сечением фасонного профиля проводится фасонными шлифовальными кругами. При шлифовании круг подается вдоль стержня.

Притирку профильных стержней и пуансонов можно проводить на шлифовальном станке профильным диском при помощи абразивных паст.

При обработке стержней и пуансонов из твердых сплавов целесообразно использовать методы электромеханической обработки, которые позволяют получать детали с чистотой поверхности, соответствующей 12—13-му классам.

Твердость рабочей поверхности матриц, используемых в массовом производстве, должна быть равной *HRC* 63÷65. Матрицы с твердостью ниже *HRC* 63 быстро изнашиваются. Твердость *HRC* 60÷62 может быть допущена только при изготовлении небольших партий металлокерамических деталей.

Стержни работают в таких же тяжелых условиях абразивного износа, что и матрицы. Однако при назначении твердости для стержней необходимо учитывать его длину. Длинные стержни (с отношением длины к диаметру $l : d = 20 : 1$ и более) испытывают повышенную нагрузку на изгиб, и материал такого стержня должен быть достаточно вязким, чтобы выдерживать эту нагрузку. Поэтому для стержней с $l : d = 12 : 1$ и меньше значение твердости можно принимать равным *HRC* 63÷65, для стержней с $l : d = 20 : 1$ и больше — *HRC* 58÷60. Нерабочая нижняя часть стержня должна отпускаться до твердости *HRC* 40÷45. Твердость резьбовых хвостовиков не должна быть больше *HRC* 45.

Поскольку пуансоны работают в основном на сжатие, значение поверхностной твердости принимается равным *HRC* 56÷58. Длинные пуансоны (обычно нижние) закаливают до твердости *HRC* 48÷53. Нерабочая нижняя часть длинных пуансонов отпускается до твердости *HRC* 45.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов Г. И., Николаев А. Н. О расчете пресс-форм, применяемых для прессования металлических порошков. — В сб.: «Порошковая металлургия» (Доклады IV Всесоюзного научно-технического совещания по вопросам порошковой металлургии). Ярославль, Изд-во НТО Машпром, 1956.
2. Артамонов А. Я. Влияние условий обработки на физико-механическое состояние металлокерамических материалов. Киев, «Наукова думка», 1965.
3. Афенченко О. Г. Клиновое прессование металлических порошков.— «Порошковая металлургия», 1964, № 4 (22), 80—85.
4. Бальшин М. Ю. Порошковая металлургия. М., Машгиз, 1948.
5. Виноградов Г. А. и др. Изготовление сталеалюминиевой проволоки методом порошковой металлургии. — «Порошковая металлургия», 1965, 5, № 10 (34), 11—17.
6. Виноградов Г. А., Радомысельский И. Д. Прессование и прокатка металлокерамических материалов. М. — Киев, Машгиз, 1963.
7. Виноградов Г. А., Семенов Ю. Н. Прокатка металлических порошков. М., Металлургиздат, 1960.
8. Горбунов Н. С. и др. Исследование закономерностей вибрационного прессования порошковых металлов и их соединений. — В сб.: «Исследования по жаропрочным сплавам». Т. 8. М., Изд-во АН СССР, 1962.
9. Григор'єва В. В., Клименко В. М. Сплави на основі карбіду хрому. К., Вид-во АН УРСР, 1961.
10. Де Гроат Д. Х. Производство изделий из металлического порошка. М., Машгиз, 1960.
11. Дорофеев Ю. Г., Жердицкий Н. Т. Использование метода динамического горячего прессования в металлокерамическом производстве.— «Порошковая металлургия», 1966, № 7 (43), 22—31.
12. Жданович Г. М. Некоторые вопросы теории процесса прессования металлокерамических порошков и их смесей. Минск, Изд-во Белорусского политехнического института, 1960.
13. Кислый П. С., Самсонов Г. В. Основы процесса мундштучного прессования труб и стержней из тугоплавких соединений. — «Порошковая металлургия», 1962, № 3 (9), 31—48.
14. Корнилов И. И. и др. Титан и его сплавы. — В сб.: «Металлургия и металловедение». М., Изд-во АН СССР, 1958.
15. Кунин Н. Ф., Юрченко Б. Д. О рациональном уравнении прессования металлических порошков. — «Порошковая металлургия», 1965, № 2 (26), 3—10.
16. Лихтман В. И. и др. О вибрационном уплотнении в порошковой металлургии. — ДАН СССР, 1960, 134, № 5, 1150—1152.

17. Николаев А. Н. Связь между давлением и плотностью прессовок из металлических порошков. — «Порошковая металлургия», 1962, № 3 (9), 3—9.
18. Николаев А. Н. Расчет и конструирование матриц для прессования металлических порошков. — В сб.: «Металловедение и термическая обработка» (Труды Горьковского политехнического института), 1963, 19, № 1.
19. Печентковский Е. Л. Принципы конструирования пресс-форм для прессования и калибрования металлокерамических деталей сложной формы. — «Порошковая металлургия», 1961, № 2, 76—92.
20. Пономарев С. Д. и др. Основы современных методов расчета на прочность в машиностроении (Расчеты при статической нагрузке). М., Машгиз, 1952.
21. Рабинович Л. С. и др. Металлокерамические детали лопастных насосов двойного действия модели Г12-2. — «Порошковая металлургия», 1967, № 2 (50), 50—59.
22. Радомысельский И. Д. Принципы конструирования пресс-форм для прессования металлокерамических деталей сложной формы. — В сб.: «Машиностроение и приборостроение». Киев, Изд-во НТО Машпром, 1958, № 10—11, 16—23.
23. Радомысельский И. Д., Збаразский С. Г. Автоматическая четырехгнездная пресс-форма для прессования гладких втулок. — «Порошковая металлургия», 1962, № 3 (9), 104—109.
24. Радомысельский И. Д. и др. Автоматическая пресс-форма для прессования втулок с буртом. — «Порошковая металлургия», 1962, № 1 (7), 75—79.
25. Радомысельский И. Д., Печентковский Е. Л. Стационарные пресс-формы для калибрования втулок с буртом методом обжатия. — «Порошковая металлургия», 1963, № 1 (13), 83—92.
26. Радомысельский И. Д., Печентковский Е. Л. Автоматическая пресс-форма для двухслойного прессования. — «Порошковая металлургия», 1961, № 6, 85—89.
27. Радомысельский И. Д. и др. Исследование величины коэффициента бокового давления при прессовании железных порошков. — «Порошковая металлургия», 1966, № 9 (45), 6—10.
28. Радомысельский И. Д., Сердюк Г. Г. О выборе толщины стенки матрицы при конструировании пресс-форм. — «Порошковая металлургия», 1965, № 2 (26), 90—96.
29. Самсонов Г. В., Кислый П. С. Высокотемпературные неметаллические термопары и наконечники. Киев, «Наукова думка», 1965.
30. Самсонов Г. В., Ковальченко М. С. Горячее прессование. Киев, Гостехиздат УССР, 1962.
31. Федорченко И. М., Андриевский Р. А. Основы порошковой металлургии. Киев, Изд-во АН УССР, 1963.
32. Федорченко И. М., Панаиотти И. И. Одновременное многослойное прессование тонких металлических изделий. — В сб.: ВИНИТИ. М., 1959, № 1.
33. Францевич И. Н. Порошковая металлургия. М., «Знание», 1959.
34. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект. М.—Л., Машгиз, 1955.
35. Brackpool I., Phelps L. Vibratory Compacting of Metal Powders. — „Powder Metallurgy", 1964, 7, № 14, 213—227.
36. Compaction Process for Ceramic and Metallic Powders. — „Australas Manufacturer", 1960, 45, № 2300, 52—53.

37. Emley F., Deibel C. Ceramic and Metallic. Bars of Unlimited Lenght from Powder Form. — „Westinghouse Engineer", 1959, 19, № 6, 172—173.
38. Hausner H., Poster A. R. Slip Casting of Metal Powders and Metal. Ceramic. — „Powder Metallurgy", New Jourk — London. 1961.
39. Hulten S., Taylor H. Materials and Methods for Tool Making. — „Powder Handbook", v. 1, Sweden, Höganäs, 1958.
40. Powder Metallurgy Improves Impact Extrusions. „Precis Metal. Mold.", 1962, 20, № 4, 37.
41. Sandstrom D. J. Consolidating Metal Powders Magnetically. — „Metal Progr.", 1964, 86, № 3, 91—94.
42. Taylor H. Sizing and Coining. — „Hoganäs Jron Powder Handbook", v. 1, Sweden, Höganäs, 1957.
43. Winterlerg F. Die Preβtechnik in der Pulvermetallurgie. II Teil. — „Industrieblatt", 1962, 62, № 11, 679—685.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3
Основные технологические варианты формования металлокерамических изделий 5
Прерывистое холодное формование 8
Прессование в закрытых пресс-формах 8
Разновидности холодного прессования в закрытых пресс-формах . . . 14
Прессование в закрытых пресс-формах с приложением вибрации . . . 17
Пакетное прессование 18
Изостатическое прессование 19
Центробежное формование 22
Формование в электрическом (электромагнитном) поле 23
Ударное прессование 23
Электрогидродинамическое прессование 24
Электромагнитное прессование 25
Прессование взрывом 25
Шликерное литье 26
Прерывистое горячее формование 27
Прессование в закрытых пресс-формах 28
Пакетное прессование 29
Изостатическое прессование 29
Центробежное формование 30
Ударное прессование 31
Прессование взрывом 32
Формование свободной насыпкой с виброукладкой 33
Химическое формование 33
Непрерывное холодное формование 33
Прокатка листа и профиля 34
Мундштучное прессование 35
Прессование скошенным пуансоном 36
Ударное выдавливание 38
Непрерывное горячее формование 38
Прокатка листа и профиля 38
Мундштучное прессование 40
Принципы конструирования закрытых пресс-форм для холодного прессования 41
Классификация закрытых пресс-форм для холодного прессования 41
Принципы конструирования пресс-форм для изделий I, II и III групп сложности 44
Принципы конструирования пресс-форм для изделий IV, V групп сложности 48

Принципы конструирования пресс-форм для изделий VI и VII групп сложности . . . 55
Элементы конструкции пресс-форм, обеспечивающие заполнение полости матриц порошком . . . 67
Элементы конструкции пресс-форм, обеспечивающие выталкивание спрессованного изделия . . . 74
Автоматические пресс-формы . . . 83
Выбор пресса для холодного прессования в закрытых пресс-формах . . . 94
Расчет пресс-форм . . . 98
Расчет размеров пресс-форм . . . 98
Расчет деталей пресс-форм на прочность . . . 104
Материалы для изготовления деталей пресс-форм . . . 117
Детали пресс-форм из твердых сплавов . . . 119
Принципы конструирования пресс-форм для прочих видов формования металлокерамических изделий . . . 121
Пресс-формы для горячего прессования . . . 122
Пресс-формы для прессования скошенным пуансоном . . . 126
Пресс-формы для мундштучного прессования . . . 127
Пресс-формы для изостатического прессования . . . 129
Пресс-формы для ударного прессования . . . 131
Пресс-формы для прессования взрывом . . . 132
Формы для шликерного литья . . . 133
Пресс-формы для допрессовки и калибрования, их расчет . . . 134
Основные принципы конструирования пресс-форм для допрессовки и калибрования . . . 136
Некоторые факторы, влияющие на усилие калибрования . . . 137
Калибрование изделий I, II и III групп сложности . . . 142
Калибрование изделий IV и V групп сложности . . . 145
Калибрование изделий VI и VII групп сложности . . . 149
Расчет пресс-форм для калибрования и допрессовки . . . 151
Некоторые особенности технологии изготовления пресс-форм . . . 153
Технические требования на изготовление пресс-форм . . . 153
Конструктивное оформление основных рабочих деталей . . . 156
Методы изготовления рабочих деталей пресс-форм . . . 163
Термическая обработка деталей пресс-форм . . . 167
Литература . . . 168

Цех № _____

отдел _____

ВКЛАДЫШ № . . . .

для прохода в неурочное время

Кабина „А" Ячейка 548

Фамилия, инициалы Писарева А.С.

Дата с «10» ноября 1989 г. по «__» _____ 19__ г.

Начало работы с «13» час. «30» мин.

Конец работы в «22» час. «00» мин.

Начальник цеха (отдела) _____ (подпись)

М.Ш.

Отметка о преждевременном уходе

82 коп.